

Notfall+ Rettungsmedizin

Zeitschrift für präklinische und innerklinische Notfallmedizin



Roche v-TAC – einfach unvergleichlich.

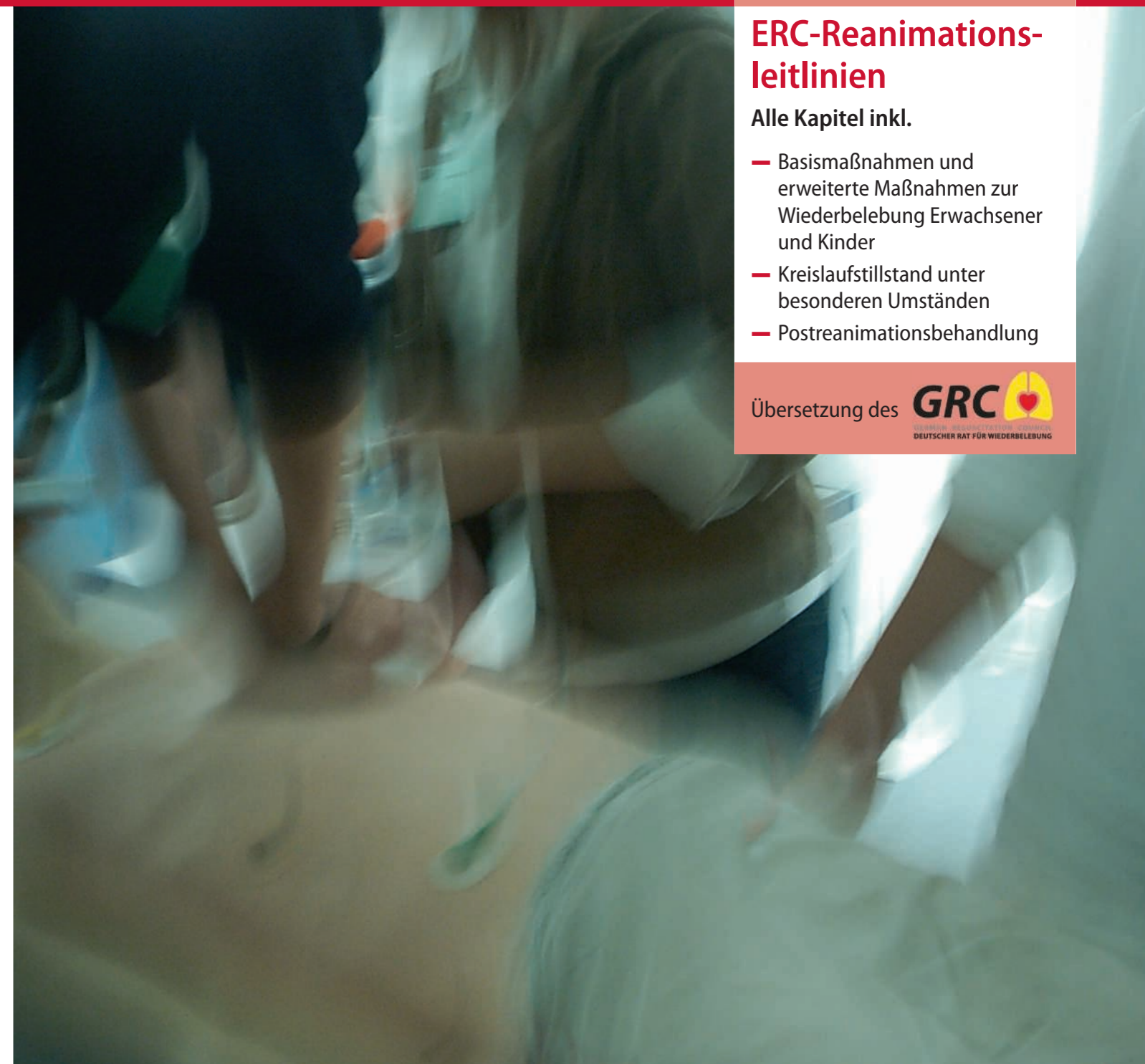
Arterielle Blutgaswerte mit venösem Blut digital berechnen.

Die Roche v-TAC Software-Lösung berechnet die arteriellen Blutgaswerte basierend auf peripher-venösen Blutproben. Sie berücksichtigt dabei zusätzlich die per Pulsoximetrie erfasste arterielle Sauerstoffsättigung (SpO₂).

Ihre Vorteile: Schneller und einfacher Zugang zu arteriellen Blutgaswerten, Reduktion der Notwendigkeit arterieller Punktionen und damit eine echte Zeitersparnis und Entlastung im Regelbetrieb. Die Verringerung arterieller Blutproben bedeutet für die Patienten weniger Schmerzen sowie weniger potenzielle Nebenwirkungen.

Neugierig? Sprechen Sie uns an und informieren Sie sich über die unkomplizierte Implementierung von Roche v-TAC.

Mehr erfahren unter
roche.de/vtac



ERC-Reanimationsleitlinien

Alle Kapitel inkl.

- Basismaßnahmen und erweiterte Maßnahmen zur Wiederbelebung Erwachsener und Kinder
- Kreislaufstillstand unter besonderen Umständen
- Postreanimationsbehandlung

Übersetzung des



Fibrogammin® hält das Fibrinnetz stabil



Faktor XIII

- + Stoppt Nachblutungen¹
- + Ist Voraussetzung für die Wundheilung²
- + Reduziert das Infektionsrisiko³



Fibrogammin.de

1 Gödje OI, Gallmeier U, Schelian M, Grünewald M, Mair H.: Coagulation factor XIII reduces postoperative bleeding after coronary surgery with extracorporeal circulation; Thorac Cardiovasc Surg. 2006 Feb;54(1):26-33. **2** Dickneite C, Herwald H, Korte W, Allanore Y, Denton CP, Matucci Cerinic M: Coagulation factor XIII: a multifunctional transglutaminase with clinical potential in a range of conditions; Thromb Haemost. 2015 Apr;113(4):686-97. **3** Loof TG, Mörgelin M, Johansson L, Oehmcke S, Olin AI, Dickneite C, Norrby-Teglund A, Theopold U, Herwald H: Coagulation, an ancestral serine protease cascade, exerts a novel function in early immune defense; Blood. 2011;118(9):2589-2598.

Fibrogammin® 250/1250 Pulver und Lösungsmittel zur Herstellung einer Injektions-/Infusionslösung

Wirkstoff: Humaner Blutgerinnungsfaktor XIII. **Zusammensetzung:** Fibrogammin® 250/1250 enth. nominal 250/1250 I.E. Blutgerinnungsfaktor XIII. Sonst. Bestandteile: Human Albumin, Glukosemonohydrat, Natriumchlorid, NaOH (zur Einstellung des pH-Wertes), Lösungsmittel: Wasser f. Injektionszwecke. **Anwendungsgebiete:** Prophylaxe bei kongenitalem Mangel an Faktor XIII, perioperative Behandlung von chirurgischen Blutungen bei kongenitalem F-XIII Mangel, hämorrhagische Diathese, bedingt oder mitbedingt durch erworbenen FXIII Mangel, supportive Therapie bei Wundheilungsstörungen, insbesondere bei Ulcus cruris, nach ausgedehnten Operationen und Verletzungen. **Gegenanzeigen:** Überempfindlichkeit gg. den Wirkstoff od. sonst. Bestandteile des Präparates. **Nebenwirkungen:** Selten: Allergoid-anaphylaktoide Reaktionen (wie generalisierte Nesselsucht, Hautrötung, Blutdruckabfall, Atembeschwerden), Temperaturanstieg. Sehr selten: Bildung neutralisierender Antikörper (Inhibitoren) gegen FXIII. **Besondere Warnhinweise und Vorsichtsmaßnahmen:** Bei frischen Thrombosen ist wegen der fibrinstabilisierenden Wirkung von FXIII Vorsicht geboten Verschreibungs-pflichtig. **Pharmazeutischer Unternehmer:** CSL Behring GmbH, Emil-von-Behring-Str. 76, 35041 Marburg. Stand: Februar 2020.

Fibrogammin®

271	<p>Einführung zum Thema Die neuen Reanimationsleitlinien 2021 in der deutschen Übersetzung – die BIG-FIVE-Überlebensstrategien gewinnen deutlich an Bedeutung <i>N. Rott · B. Dirks · B. W. Böttiger</i></p>	406	<p>Erweiterte lebensrettende Maßnahmen für Erwachsene. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 <i>J. Soar · B. W. Böttiger · P. Carli · K. Couper · C. D. Deakin · T. Djärv · C. Lott · T. Olasveengen · P. Paal · T. Pellis · G. D. Perkins · C. Sandroni · J. P. Nolan</i></p>
274	<p>ERC Leitlinien Kurzfassung. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 <i>G. D. Perkins · J.-T. Gräsner · F. Semeraro · T. Olasveengen · J. Soar · C. Lott · P. Van de Voorde · J. Madar · D. Zideman · S. Mentzelopoulos · L. Bossaert · R. Greif · K. Monsieurs · H. Svavarsdóttir · J. P. Nolan · Autoren der Leitlinien des European Resuscitation Council</i></p>	447	<p>Kreislaufstillstand unter besonderen Umständen. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 <i>C. Lott · A. Truhlář · A. Alfonzo · A. Barelli · V. González-Salvado · J. Hinkelbein · J. P. Nolan · P. Paal · G. D. Perkins · K.-C. Thies · J. Yeung · D. A. Zideman · J. Soar</i></p>
346	<p>Epidemiologie des Kreislaufstillstands in Europa. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 <i>J.-T. Gräsner · J. Herlitz · I. B. M. Tjelmeland · J. Wnent · S. Masterson · G. Lilja · B. Bein · B. W. Böttiger · F. Rosell-Ortiz · J. P. Nolan · L. Bossaert · G. D. Perkins</i></p>	524	<p>Postreanimationsbehandlung. Leitlinien des European Resuscitation Council und der European Society of Intensive Care Medicine 2021 <i>J. P. Nolan · C. Sandroni · B. W. Böttiger · A. Cariou · T. Cronberg · H. Friberg · C. Genbrugge · K. Haywood · G. Lilja · V. R. M. Moolaert · N. Nikolaou · T. M. Olasveengen · M. B. Skrifvars · F. Taccone · J. Soar</i></p>
367	<p>Lebensrettende Systeme. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 <i>F. Semeraro · R. Greif · B. W. Böttiger · R. Burkart · D. Cimpoesu · M. Georgiou · J. Yeung · F. Lippert · A. S. Lockey · T. M. Olasveengen · G. Ristagno · J. Schlieber · S. Schnaubelt · A. Scapigliati · K. G. Monsieurs</i></p>	577	<p>Erste Hilfe. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 <i>D. A. Zideman · E. M. Singletary · V. Borra · P. Cassan · C. D. Cimpoesu · E. De Buck · A. J. Handley · B. Klaassen · D. Meyran · E. Oliver</i></p>
386	<p>Basismaßnahmen zur Wiederbelebung Erwachsener (Basic Life Support). Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 <i>T. M. Olasveengen · F. Semeraro · G. Ristagno · M. Castren · A. Handley · A. Kuzovlev · K. G. Monsieurs · V. Raffay · M. Smyth · J. Soar · H. Svavarsdóttir · G. D. Perkins</i></p>	603	<p>Versorgung und Reanimation des Neugeborenen nach der Geburt. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 <i>J. Madar · C. C. Roehr · S. Ainsworth · H. Ersda · C. Morley · M. Rüdiger · C. Skåre · T. Szczapa · A. te Pas · D. Trevisanuto · B. Urlsberger · D. Wilkinson · J. P. Wyllie</i></p>



Auf diesen Seiten finden Sie weitere wichtige zusätzliche Hinweise zu der Übersetzung der ERC-Reanimationsleitlinien

Angaben zum Copyright:	S. 345
Hinweis zu Glukagon:	S. 523, 602
Übersetzer der Leitlinien:	S. 265
So werden Sie Mitglied beim GRC:	S. 269
Businesspartner des GRC:	S. 259

- 650** **Lebensrettende Maßnahmen bei Kindern (Paediatric Life Support, PLS). Leitlinien des European Resuscitation Council 2021**
P. Van de Voorde · N. M. Turner · J. Djakow · N. de Lucas · A. Martinez-Mejias · D. Biarent · R. Bingham · O. Brissaud · F. Hoffmann · G. B. Johannesdottir · T. Lauritsen · I. Maconochie
- 720** **Ethik der Reanimation und Entscheidungen am Lebensende. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021**
S. D. Mentzelopoulos · K. Couper · P. Van de Voorde · P. Druwé · M. Blom · G. D. Perkins · I. Lulic · J. Djakow · V. Raffay · G. Lilja · L. Bossaert

- 750** **Lehre in der Reanimation. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021**
R. Greif · A. Lockey · J. Breckwoldt · F. Carmona · P. Conaghan · A. Kuzovlev · L. Pflanzl-Knizacek · F. Sari · S. Shammet · A. Scapigliati · N. Turner · J. Yeung · K. G. Monsieurs
- Verschiedenes**
 Termine
 Impressum

Der GRC bedankt sich für die Unterstützung bei seinen Businesspartnern:



Alle Informationen zu der deutschen Übersetzung der ERC-Leitlinien sind auf www.grc-org.de zusammengestellt.



Narcotrend[®]-Compact M

EEG-Monitoring für OP und Intensiv bei Patienten jeden Lebensalters



Anwendungsgebiete für das EEG-Monitoring bei Intensivpatienten

- Beurteilung der Sedierungstiefe
- Diagnosestellung und Therapieüberwachung bei cerebralen Krampfanfällen
- Beurteilung der Hirnfunktion nach hypoxischen Ereignissen
- Abschätzung der Prognose nach Reanimation

Spezielle Situation bei beatmeten Patienten mit COVID-19

- Neurologische Symptomatik bei einem hohen Prozentsatz der Patienten¹
- Häufig epilepsietypische EEG-Aktivität
- Vielkanal-EEG, CT und MRT wegen des Übertragungsrisikos des Virus nur eingeschränkt, ggf. auch gar nicht, verfügbar
- Bei Bedarf PEEP-Beatmung, Bauchlagerung, Relaxierung, ECMO²
- Gabe von Medikamentenkombinationen zur Sedierung, beispielsweise i. v.-Hypnotika und Inhalationsanästhetika³

Intensiv-Version des Narcotrend-Compact M

- Bettseitiger Einsatz, kontinuierliches Monitoring
- 1 oder 2 EEG-Kanäle
- Elektroden flexibel positionierbar, vorteilhaft z. B. bei Bauchlagerung
- Automatische Interpretation des EEG
- Erkennung von epilepsietypischer EEG-Aktivität wird durch den Parameter STI (Steile Transienten Intensität) unterstützt
- Artefakterkennung auf Bedingungen bei Intensivpatienten abgestimmt

1 Aghagoli G et al. Neurological involvement in COVID-19 and potential mechanisms: a review. Neurocrit Care 2020;10.1007/s12028-020-01049-4

2 Kluge S et al. S3-Leitlinie - Empfehlungen zur stationären Therapie von Patienten mit COVID-19. https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/113-001l_S3_Empfehlungen-zur-stationaeren-Therapie-von-Patienten-mit-COVID-19_2021-02.pdf

3 Hanidziar D, Bittner E. Sedation of mechanically ventilated COVID-19 patients: challenges and special considerations. Anesth Analg 2020;131(1):e40-e41



German Interdisciplinary Journal of Emergency Medicine**Organ der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e.V. (DIVI)****Organ des Deutschen Rates für Wiederbelebung – German Resuscitation Council e.V. (GRC)****Organ des Österreichischen Rates für Wiederbelebung – Austrian Resuscitation Council (ARC)****Organ der Arbeitsgemeinschaft Südwestdeutscher Notärzte e.V. (agswn)****Organ der Deutschen Gesellschaft Interdisziplinäre Notfall- und Akutmedizin e.V. (DGINA)****Organ des Bundesverband Ärztlicher Leiter Rettungsdienst e.V. (BV ÄLRD)****Schriftleitung/Senior editors****(federführend/Editor-in-chief)**

Prof. Dr. Bernd W. Böttiger, Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Köln (federführend/Editor-in-chief)

Prof. Dr. Christian Waydhas, Chirurgische Universitätsklinik und Poliklinik Berufsgenossenschaftliches Universitätsklinikum Bergmannsheil Bochum
Prof. Dr. Christian Wrede, Interdisziplinäres Notfallzentrum HELIOS Klinikum Berlin-Buch (federführend/Editor-in-chief)**Rubrikherausgeber/Section editors****Übersichten/Review**Prof. Dr. Bernd W. Böttiger, Köln Prof. Dr. Christian Wrede, Berlin
Prof. Dr. Christian Waydhas, Bochum**Originalien/Kasuistiken/Der interessante Fall/****Original articles/Case reports/The interesting cas**Prof. Dr. Michael Bernhard, Düsseldorf
PD Dr. Tobias Helfen, München
Prof. Dr. Karl-Georg Kanz, München
Prof. Dr. Christoph Dodt, München
Dr. Stephan Prückner, München
Prof. Dr. Harald Dormann, Fürth
Prof. Dr. Wolfgang Schreiber, Wien
Prof. Dr. Matthias Fischer, Göppingen
Prof. Dr. Stefan Huber-Wagner, München
Florian Grossmann, Basel
Prof. Dr. Felix Walcher, Magdeburg**CME Zertifizierte Fortbildung/Continuing medical education**PD Dr. Jan Breckwoldt, Zürich
Prof. Dr. Rajan Somasundaram, Berlin
Prof. Dr. Michael Christ, Luzern
Prof. Dr. Gerrit Matthes, Potsdam
Prof. Dr. Uwe Zeymer, Ludwigshafen
Dr. Gernot Rucker, Rostock**Notfall aktuell – Für Sie gelesen/Emergency today – Journal Club**Prof. Dr. Christoph Dodt, München Prof. Dr. Karl-Georg Kanz, München
Prof. Dr. Jochen Hinkelbein, Köln**Konzepte – Stellungnahmen – Perspektiven/****Concepts – Statements – Perspectives**Prof. Dr. Michael Baubin, Innsbruck
Dr. Bernd A. Leidel, Berlin
Bernhard Gliwitzky, Maikammer
Dr. Thomas Luiz, Kaiserslautern
Prof. Dr. Jochen Hinkelbein, Köln
Dr. Stefan Poloczek, Berlin
Prof. Dr. Dr. Alex Lechleuthner, Köln**Pädiatrische Notfälle/Pediatric emergencies**

Dr. Christian Both, Zürich PD Dr. Florian Hoffmann, München

Teamwork + EducationFrank Flake, Oldenburg Dr. Bernd Hossfeld, Ulm
Dr. Philipp Gotthardt, Nürnberg PD Dr. Jürgen Knapp, Bern
Dr. David Häske, Reutlingen Dr. Heiko Trentzsch, München**Medizinrecht/Medicine and law**Dr. Christian Jäkel, Lübben Frank Sarangi, Düsseldorf
Dr. Patick M. Lissel, München**Fachgutachterin Statistik/Statistical advisor**

Prof. Dr. Christel Weiß, Mannheim

Consulting editor

Dr. Jerry Nolan, Bath (UK)

Korrespondierender Beirat/Corresponding editorsProf. Dr. J. Bengel, Freiburg Prof. Dr. H.-C. Pape, Aachen
Dr. D. Bieler, Koblenz Prof. Dr. T. Pohlemann, Homburg/Saar
PD Dr. V. Bogner-Flatz, München
Prof. Dr. F. Eyer, München Prof. Dr. G. Prause, Graz (AT)
Prof. Dr. A. Gries, Leipzig Dipl.-Ing. W. Schäuble, München
Dr. T. Hauer, Berlin Dr. T. Schlechtriemen, Saarbrücken
Prof. Dr. M. Helm, Ulm S. Schmöckel, Karlsruhe
M. Herm, Ulm Prof. Dr. M. Schütz, Brisbane (AU)
Prof. Dr. U. Janssens, Eschweiler PD Dr. U. Schweigkofler, Frankfurt/Main
Prof. Dr. C. K. Lackner, München
Prof. Dr. B. Madea, Bonn Prof. Dr. C. Werner, Mainz
Dr. H. Marung, Hamburg Dr. S. Wirtz, Hamburg
Prof. Dr. F.-G. B. Pajonk, Kloster Schäftlarn Dr. J.-W. Weidringer, München
Prof. Dr. B. Zwißler, München**Begründet von/Founded by:**Prof. Dr. Dr. h. c. W. Dick, Mainz Prof. Dr. H.-P. Schuster, Hildesheim
Prof. Dr. P. Lemburg, DüsseldorfDie Institutsadressen aller gen. Personen können Sie einsehen unter/
Institute addresses of all above-mentioned persons can be found at
www.notfallundrettungsmedizin.de**Für Autoren · Instructions for Authors**Ausführlichen Manuskriptleitfäden und Musterbeiträge finden Sie online unter „Hinweise für Autoren“ auf / Author guidelines are available at:
www.notfallundrettungsmedizin.de**Manuskripteinreichung / Online Manuscript Submission:**Bitte reichen Sie Ihr Manuskript online ein unter:
www.editorialmanager.com/nore

Kontakt:

Elisabeth Althaus
Redaktion Editorial Office
der Zeitschrift „Notfall + Rettungsmedizin“
E-Mail: redaktion@notfallundrettungsmedizin.de

INFARKT ODER KEIN INFARKT

... DAS IST HIER DIE FRAGE



DIAGNOSE IM 1. AKT
TriageTrue®

Vorhang auf für unseren neuen Helden, den Quidel TriageTrue® High Sensitivity Troponin I Test. Bei Verdacht auf Myokardinfarkt liefert er hochsensitive Ergebnisse in weniger als 20 Minuten – direkt auf Ihrer Bühne, dem Point-of-Care. Jetzt hinter die Kulissen schauen und mehr erfahren:

www.triagetrue.de





© golubovy / stock.adobe.com

Informationen für Autoren

Geben Sie Ihrem Wissen Raum – schreiben Sie einen Beitrag! Mit einer Publikation in *Notfall + Rettungsmedizin* erreichen Sie auf einen Schlag alle Beteiligten der Notfallversorgung – den Notarzt, den Notfallsanitäter sowie das gesamte Notfallteam. Die Schwerpunkte liegen sowohl in der Präklinik als auch in der innerklinischen Notfallmedizin, sowie im Qualitätsmanagement und in der notfallmedizinischen Versorgungsforschung.

Wir unterstützen Sie von Anfang an

- Einreichung und Begutachtung über Editorial Manager
- Qualitätssicherung durch Reviewverfahren
- Ausgewiesenes Fachlektorat (deutsch/englisch) und persönliche Unterstützung bei allen redaktionellen Fragen
- Schnelle Online-First-Veröffentlichung, ab dann zitierbar!
- Optimale Verbreitung gedruckt und online über SpringerMedizin.de und SpringerLink
- Personalisiertes Autoren-PDF und Belegheft
- 50% Autorenrabatt auf alle Zeitschrifteninhalte auf SpringerMedizin.de + eine gedruckte Zeitschrift Ihrer Wahl!



▲ Mehr auf www.springermedizin.de/Autoren

Ihr Kontakt

Dr. Ines Wolff

Tel.: 06221 – 487-8505

eMail: ines.wolff@springer.com

www.springermedizin.de/

notfall-rettungsmedizin

Besonderheiten von *Notfall + Rettungsmedizin*

- Interprofessionell und Interdisziplinär: Herausgeber, Autoren, Leser
- Vielfältige Rubriken: Leitthema, Originalien, Zertifizierte Fortbildung, Kasuistik, „Einfach und Praktisch“ und viele mehr
- Eine komplette Übersicht finden Sie auf www.springer.com/10049 unter „Autorenhinweise“
- Anerkannte Experten als Herausgeberboard und Beiräte aus allen Bereichen der Notfallversorgung



LEISTUNGSSTARKER BEGLEITER FÜR PROFESSIONELLE ERSTHELFER

mindray
DEUTSCHLAND

healthcare within reach

Wo auch immer Patienten wegen eines Herzstillstandes Hilfe benötigen: Die intelligenten Funktionen und intuitiv zu bedienende Benutzeroberfläche machen die Defibrilatoren von Mindray zum idealen Begleiter professioneller Ersthelfer.

Mindray AEDs:

- Separate Modi für **Kinder und Erwachsene**
- **Langlebigkeit:** Akkus und Pads haben eine Lebensdauer von bis zu 5 Jahren. Auf das Gerät selbst bieten wir 8 Jahre Garantie.
- **Flexible Überwachung** über AED Alert - Flottenmanagement
- Schockabgabe in unter 8 Sekunden

BeneHeart C-Serie AED

Dank innovativer **QShock™-Technologie** eskaliert das AED schnell und mit bis zu 360 Joule.^{1,2} Das integrierte Tool **ResQNavi™³** bietet smarte Unterstützung für geübte und ungeübte Helfer. Auf Wunsch inkl. Display und EKG-Anzeige.



BeneHeart D3/D6 AED, Defibrillator und Patientenmonitor

Die BeneHeart D-Serie bietet eine Energieabgabe von bis zu 360 Joule sowie eine Übersicht wichtiger Vitalparameter wie SpO₂, etCO₂, NIBP, IBP, RESP und 12-Kanal-EKG, sowie Kapnographie. Zudem wird die Einbindung an die BeneVision-Zentrale unterstützt.



AED-Alert™ 2.0 Jederzeit alles im Blick – alles unter Kontrolle

Der AED-Alert™ 2.0 bietet eine schnelle und effiziente Möglichkeit, AEDs basierend auf IoT-Technologie aus der Ferne zu verwalten.

Profitieren Sie von:

- Gerätestatusinformationen
- Rettungsalarm und Aufzeichnungen
- Geo-Location-Alarme
- Lebenszyklus-Management



BeneVision N1 Connecting the vision

Der N1 ist ein Transportmonitor und Multiparametermodul, der logistische Herausforderungen meistert. Er sorgt für Flexibilität, Mobilität und Sicherheit auf höchstem Niveau.

Dank seines hochauflösenden Displays mit HD-Touchscreen sorgt der BeneVision N1 für erstklassige Visualisierungen. Seine Benutzung erfolgt intuitiv und wird durch eine Gestensteuerung unterstützt.



¹Die Zeit für das Auflegen der Pads ist nicht berücksichtigt., ²Während der EKG-Analyse wird das Gerät vorgeladen. ³mehrsprachig



Übersetzer der ERC-Reanimationsleitlinien 2021

Der GRC dankt den folgenden Personen für die wertvolle Unterstützung bei der Übersetzung der Kapitel!
[Die federführenden Übersetzer sind hervorgehoben]

1 Kurzfassung:

- Dr. rer. nat. Dr.med. **Burkhard Dirks**
German Resuscitation Council
dirks@grc-org.de

2 Epidemiologie:

- Prof. Dr. med. **Jan-Thorsten Gräsner**
Universitätsklinikum Schleswig-Holstein
Jan-Thorsten.Graesner@uksh.de
- Dr. med. Jan Wnent, MDM
Universitätsklinikum Schleswig-Holstein
Jan.Wnent@uksh.de

3 Lebensrettende Systeme:

- **Nadine Rott**
Universitätsklinikum Köln (AöR)
rott@grc-org.de

4 Basismaßnahmen (BLS):

- Dr. med. **Ulrich Jost**
Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft
ulrich.jost@dlrg.de
- Sebastian Habicht, B.A.
Institut für Notfallmedizinische Bildung
habicht.sebastian@agnf.org

5 Erweiterte Maßnahmen (ALS):

- Prof. Dr. med. **Jochen Hinkelbein**
Universitätsklinikum Köln (AöR)
jochen.hinkelbein@uk-koeln.de
- Prof. Dr. Stefan Braunecker
University of Florida College of Medicine
stefan.braunecker@gmx.de
- Jan Schmitz
Janschmitz92@googlemail.com
- Felix Liebold
felix.liebold@t-online.de

6 Besondere Umstände:

- Dr. med. **Carsten Lott**
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
lott@uni-mainz.de
- Dr. med. R. Peter Vandenesch
German Resuscitation Council
vandenesch@gmx.de
- Prof. Dr. med. Hendrik Gervais
Wiesbaden
h.gervais@icloud.com
- Dr. Markus Köstenberger
Klinikum Klagenfurt
markus.kostenberger@aon.at

- PD Dr. med. Markus Roessler
Universitätsmedizin Göttingen
m.roessler@med.uni-goettingen.de

- Bohn, Prof. Dr. Andreas
Universitätsklinikum Münster
bohna@stadt-muenster.de
- Sebastian Habicht, B.A.
Institut für Notfallmedizinische Bildung
habicht.sebastian@agnf.org
- Prof. Dr. med. Jochen Hinkelbein.
Universitätsklinikum Köln (AöR)
jochen.hinkelbein@uk-koeln.de

7 Postreanimationsbehandlung:

- PD Dr. med. **Jan Breckwoldt**
Universitätsspital Zürich, Schweiz
jan.breckwoldt@usz.ch
- PD Dr. med. Jörg Christian Brokmann
Uniklinik RWTH Aachen
jbrokmann@ukaachen.de
- PD Dr. med. Stefan Beckers
Uniklinik RWTH Aachen
SBeckers@ukaachen.de
- Stephan Dönitz
BG Klinikum Hamburg gGmbH
stephan.doenitz@gmail.com

8 Erste Hilfe:

- Dr. med. **R. Peter Vandenesch**
German Resuscitation Council
vandenesch@grc-org.de
- Stefan Osche M.A.
German Resuscitation Council
stefan.osche@grc-org.de

9 Neugeborene:

- Dr. **Jens Christian Schwindt**
Austrian Resuscitation Council
jens.schwindt@simcharacters.com
- Dr. med. Stefan Schäfer
Klinikum Nürnberg
St.Schaefer@gmx.de
- Dr. Ulrich Kreth
Kinderkrankenhaus St. Nikolaus Viersen
kreth@akh-viersen.de
- Dr. med. Beate Grass
Universitäts-Kinderspital Zürich, Schweiz
beate.grass@kispi.uzh.ch

10 Kinder (PLS):

- PD Dr. **Florian Hoffmann**
LMU Klinikum München
florian.hoffmann@med.uni-muenchen.de
- Dr. med. Michael Sasse
Medizinische Hochschule Hannover
Sasse.Michael@mh-hannover.de
- Ass.Prof. Dr. med.univ. Gudrun Burda
Medizinische Universität Wien, Österreich
gudrun.burda@meduniwien.ac.at
- Prof. Dr. med. Sebastian Brenner
Universitätsklinik Carl Gustav Carus,
Dresden; Sebastian.Brenner@uniklinikum-
dresden.de
- Dr. med. Christian Peter Both
Universitäts-Kinderspital Zürich, Schweiz
Christian.Both@kispi.uzh.ch
- Prof. Dr. med. Christoph Bernhard Eich
Kinder- und Jugendkrankenhaus AUF DER
BULT; eich@hka.de
- Francesco Cardona
Medizinische Universität Wien,
Österreich
francesco.cardona@meduniwien.ac.at
- Daniel Pfeiffer
d.pfeiffer@campus.lmu.de

11 Ethik:

- Univ.-Prof. Dr. **Michael Baubin**
Tirol Kliniken, Österreich
michael.baubin@tirol-kliniken.at
- Agnes Neumayr
Tirol Kliniken, Österreich
- Dr. Franz Josef Nierscher
AUVA Traumazentrum Wien
franzjosef.nierscher@gmail.com

12 Lehre:

- Dr. med. **Robert Greif**
Universitätsspital Bern, Schweiz
robert.greif@insel.ch
- Lucas Pflanzl-Knizacek
Medizinische Universität Graz, Österreich
mail@lucaspflanzl.at

Hinweis: Die Übersetzung beruht auf der Version vom 30.01.2021. Bis zur Publikation des englischen Originals in *Resuscitation* wurden in manchen Kapiteln Literaturstellen korrigiert oder andere Änderungen vorgenommen, die den Sinn nicht wesentlich ändern.

iSimulate REALTi360 entspricht ERC 2021 Leitlinien



 **REALTi360**
by iSimulate

 **3B Scientific**

REALISTISCHES TRAINING IN DER NOTFALLMEDIZIN

- Trainieren Sie Ihre notfallmedizinischen Teams an einem Simulator, der die von Ihnen verwendeten Defibrillatoren und Monitore realitätsnah darstellt
- Simulieren Sie realistisches Monitoring und bereiten Sie Ihre Teams auf eine sichere und schnelle Diagnosefindung im Notfall vor
- Erstellen Sie Ihre eigenen Notfall-Szenarien für das Training in der Präklinik und in allen Krankenhausabteilungen



KONTAKTIEREN SIE UNS NOCH HEUTE FÜR EINE DEMO UND EIN UNVERBINDLICHES ANGEBOT



3B Scientific GmbH • Heidelberger Str. 26 • 01189 Dresden • Deutschland
Tel.: +49 351 40390-214 • Fax: +49 351 4039-543 • E-Mail: vertrieb@3bscientific.com

Juli 2021

Soest 08.–09.07.2021

PALS Provider – Pediatric Advanced Life Support – in Deutsch

-Erweiterte Versorgungsmaßnahmen bei kritisch kranken Kindern
Wiss. Leitung: Sebastian Hoffmann
Auskunft: Medical Education Service – Institut für Notfallmedizinische Bildung, Emdenstraße 2, 59494 Soest, Fon: 02921 - 3793000, kursbuchung@medicaleducationservice.de, <https://www.medicaleducationservice.de/kurskalender>

Soest 31.07.–01.08.2021

AHA ACLS Provider

-Erweiterte Maßnahmen der kardiovaskulären Reanimation
Wiss. Leitung: Sebastian Hoffmann
Auskunft: Medical Education Service – Institut für Notfallmedizinische Bildung, Emdenstraße 2, 59494 Soest, Fon: 02921 - 3793000, kursbuchung@medicaleducationservice.de, <https://www.medicaleducationservice.de/kurskalender>

August 2021

Soest 09.–10.08.2021

AHA ACLS Provider

-Erweiterte Maßnahmen der kardiovaskulären Reanimation
Wiss. Leitung: Sebastian Hoffmann
Auskunft: Medical Education Service – Institut für Notfallmedizinische Bildung, Emdenstraße 2, 59494 Soest, Fon: 02921 - 3793000, kursbuchung@medicaleducationservice.de, <https://www.medicaleducationservice.de/kurskalender>

Soest 21.–22.08.2021

PALS Provider – Pediatric Advanced Life Support – in Deutsch

-Erweiterte Versorgungsmaßnahmen bei kritisch kranken Kindern
Wiss. Leitung: Sebastian Hoffmann
Auskunft: Medical Education Service – Institut für Notfallmedizinische Bildung, Emdenstraße 2, 59494 Soest, Fon: 02921 - 3793000, kursbuchung@medicaleducationservice.de, <https://www.medicaleducationservice.de/kurskalender>

Digital 27.–30.08.2021

ESC Congress 2021

Auskunft: European Society of Cardiology, 2035 Route des Colles, CS 80179 Biot, 06903 Sophia Antipolis Cedex, FR, Frankreich, Fon: +33.4.92.94.76.00, www.escardio.org

Mainz 30.08.2021

Beatmungstag Rettungsdienst

Themen: Grundlagen der Atmung und Beatmung, Besonderheiten der präklinischen Beatmung, Praktische Demonstrationen Resistance, Compliance und Zeitkonstante am Lungenmodell, Praktische Übungen am Lungensimulator, Nicht-invasive-Beatmung
Wiss. Leitung: Alexander Rentrop
Auskunft: Frau Elke Schütz, AQAI GmbH, Wernher-von-Braun-Str. 9, 55129 Mainz, Fon: 6131807540, es@aqai.de, www.aqai.eu

September 2021

Online; zusätzliche Teilnahme an einem Präsenzkurs kostenfrei möglich
 03.09.2021

Online-Kurs Fraktursonografie im Wachstumsalter

DGUV Zertifizierung Kindertraumatologie
Themen: Kindertraumatologie, Pädiatrie, Orthopädie und Unfallchirurgie, Radiologie
Wiss. Leitung: PD Dr. med. Ole Ackermann
Auskunft: Herr PD Dr. med. Ole Ackermann, durchblicken.org, Raiffeisenstrasse 58, 47259 Duisburg, Fon: 0203 78 10 13, info@durchblicken.org, www.durchblicken.org

Frankfurt a. M. 03.–04.09.2021

11. Frankfurter Gerinnungssymposium

Themen: Allgemeinmedizin, Hämostaseologie, Angiologie, Kardiologie, Pharmakologie, Transfusionsmedizin, Phlebologie, Chirurgie, Anästhesie, Innere Medizin, Labormedizin, Hämatologie, Gefäßchirurgie, Onkologie
Wiss. Leitung: Prof. Dr. Rupert M. Bauersachs, Prof. Dr. Viola Hach-Wunderle, Prof. Dr. Edelgard Lindhoff-Last
Auskunft: Frau Christina Wittlich, Kongress- und MesseBüro GmbH, Gartenstr. 29, 61352 Bad Homburg, Fon: +49617267960, info@kmb-lentzsch.de, <https://www.kmb-lentzsch.de/>

Hannover 10.09.2021

Zertifikatskurs Fraktursonografie im Wachstumsalter

DGUV Zertifizierung Kindertraumatologie Kindertraumatologie, Pädiatrie, Orthopädie und Unfallchirurgie, Radiologie
Themen: Intensivkurs Qualifikation Fraktursonografie im Wachstumsalter
Wiss. Leitung: PD Dr. med. Ole Ackermann
Auskunft: Herr PD Dr. med. Ole Ackermann, durchblicken.org, Raiffeisenstrasse 58, 47259 Duisburg, Fon: 0203781013, info@durchblicken.org, www.durchblicken.org

Pörschach am Wörthersee

10.–11.09.2021

8. Intensiv- und Notfallmedizinisches Symposium

Wiss. Leitung: Prim. PD Dr. Hannes Alber, Dr. Heribert Bauer, Prim. Univ. Prof. Dr. Rudolf Likar, Dr. Roland Steiner
Auskunft: Ärztezentrale Med. Info, Helferstorferstraße 4, 1010 Wien, Österreich, Fon: (+43/1) 531 16 41, azmedinfo@media.co.at, <https://registration.maw.co.at/intensivklag2021>

Tübingen 13.–17.09.2021

ICU-Beginner-Kurs 2021

Internistische Intensivmedizin, Intensivkurs für Einsteiger
Themen: Überblick über die wichtigsten Erkrankungen, diagnostischen Maßnahmen und therapeutischen Konzepte der internistischen Intensivtherapie. Interaktives Erarbeiten und die Diskussion anhand von klinischen Fallbeispielen
Wiss. Leitung: R. Riessen, H.-J. Busch
Auskunft: Aey Congresse GmbH, Seumestr. 8, 10245 Berlin, Fon: 030-29006594, info@aey-congresse.de, www.aey-congresse.de

Soest 16.–17.09.2021

PALS Provider – Pediatric Advanced Life Support – in Deutsch

-Erweiterte Versorgungsmaßnahmen bei kritisch kranken Kindern
Wiss. Leitung: Sebastian Hoffmann
Auskunft: Medical Education Service – Institut für Notfallmedizinische Bildung, Emdenstraße 2, 59494 Soest, Fon: 02921 - 3793000, kursbuchung@medicaleducationservice.de, <https://www.medicaleducationservice.de/kurskalender>

Berlin 16.–18.09.2021

23. Hauptstadtkongress der DGAI für Anästhesiologie und Intensivtherapie mit Pflegesymposium und Rettungsdienstforum

Themen: Anästhesiologie / Ambulante Anästhesie / Kinderanästhesie / Intensivmedizin / Regionalanästhesie / Notfallmedizin / Schmerz- und Palliativmedizin / Pflegesymposium / Workshops
Auskunft: MCN Medizinische Congressorganisation Nürnberg AG, Neuwieder Straße 9, 90411 Nürnberg, Fon: 0911 393160, mcn@mcn-nuernberg.de, www.mcn-nuernberg.de

Soest 18.–19.09.2021

AHA ACLS Provider

-Erweiterte Maßnahmen der kardiovaskulären Reanimation
Wiss. Leitung: Sebastian Hoffmann
Auskunft: Medical Education Service – Institut für Notfallmedizinische Bildung, Emdenstraße 2, 59494 Soest, Fon: 02921 - 3793000, kursbuchung@medicaleducationservice.de, <https://www.medicaleducationservice.de/kurskalender>

Leipzig 20.–24.09.2021

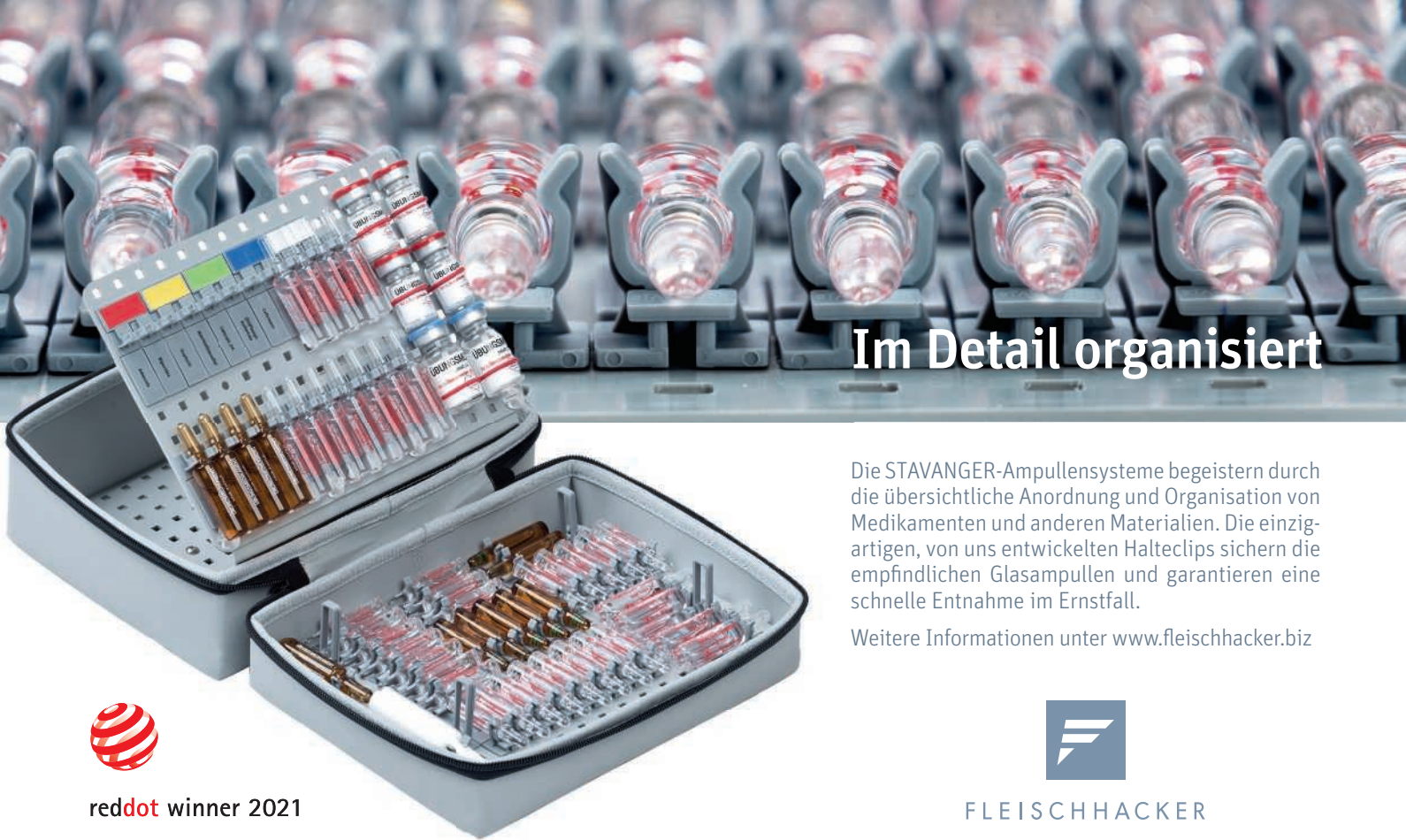
ICU-Beginner-Kurs 2021

Internistische Intensivmedizin, Intensivkurs für Einsteiger
Themen: Evidenz-basiertes Wissen über die wichtigsten Erkrankungen sowie diagnostische und therapeutische Konzepte in der Intensivmedizin
Wiss. Leitung: S. Nuding, S. Petros, R. Pfeifer, M. Weise
Auskunft: Aey Congresse GmbH, Seumestr. 8, 10245 Berlin, Fon: 030-29006594, info@aey-congresse.de, www.aey-congresse.de

Terminankündigung

Möchten Sie eine Veranstaltung in den Zeitschriften von Springer Medizin ankündigen? Bitte tragen Sie Ihre Termine auf www.springermedizin.de/veranstaltungskalender ein.

Wir publizieren die Veranstaltungstermine nach bestem Wissen. Aufgrund der Coronasituation empfehlen wir jedoch, die genannten Termine vorab kurzfristig beim Veranstalter zu überprüfen.



Im Detail organisiert

Die STAVANGER-Ampullensysteme begeistern durch die übersichtliche Anordnung und Organisation von Medikamenten und anderen Materialien. Die einzigartigen, von uns entwickelten Halteclips sichern die empfindlichen Glasampullen und garantieren eine schnelle Entnahme im Ernstfall.

Weitere Informationen unter www.fleischhacker.biz



reddot winner 2021



FLEISCHHACKER

www.grc-org.de

Werden Sie jetzt Mitglied!

Werden Sie GRC-Mitglied und tragen Sie dazu bei, die Laienreanimation in Deutschland weiter zu fördern, organisieren Sie mit uns gemeinsam Veranstaltungen und Aktionen, um die Bevölkerung über das Verhalten im Falle eines Herz-Kreislaufstillstandes sowie die erforderlichen Wiederbelebensmaßnahmen aufzuklären und treiben Sie mit uns die Forschung in der Reanimationsversorgung weiter voran – so retten wir gemeinsam Leben!

Einfach den QR Code scannen, Formular ausfüllen und abschicken.





Reanimationsversorgung geht uns alle an!

Für 70 €* im Jahr

- ♥ unterstützen Sie unsere Arbeit und helfen, die Reanimationsversorgung in Deutschland zu verbessern,
- ♥ erhalten Sie Vergünstigungen bei GRC-Kursen sowie ein kostenfreies Abo der Fachzeitschrift „Notfall+Rettungsmedizin“,
- ♥ werden Sie regelmäßig über Fortbildungsveranstaltungen und wichtige Themen informiert.

Weitere Infos unter www.grc-org.de/mitglied-werden

GRC
GERMAN RESUSCITATION COUNCIL
DEUTSCHER RAT FÜR WIEDERBELEBUNG

*50% ermäßigter Mitgliedsbeitrag für Schüler, Auszubildende und Studenten

Gutes tun mit **Gutachten**

Wir sagen Danke!

Springer Medizin
spendet im Jahr 2021

10.000 EUR an

„Ärzte ohne Grenzen“

für Gutachten zu ein-
gereichten Beiträgen.



PARTNER-UNTERNEHMEN

2021 *Wir sind dabei!*

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:271–273
<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00882-0>
Angenommen: 19. April 2021
Online publiziert: 2. Juni 2021
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von
Springer Nature 2021



N. Rott^{1,2} · B. Dirks² · B. W. Böttiger^{1,2}

¹ Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Köln, Köln, Deutschland

² Deutscher Rat für Wiederbelebung – German Resuscitation Council (GRC) e. V., c/o Sektion Notfallmedizin, Universitätsklinikum Ulm, Ulm, Deutschland

Die neuen Reanimationsleitlinien 2021 in der deutschen Übersetzung – die BIG-FIVE-Überlebensstrategien gewinnen deutlich an Bedeutung

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

wir freuen uns sehr, Ihnen in dieser Ausgabe von *Notfall + Rettungsmedizin* die komplette deutsche Übersetzung der Reanimationsleitlinien 2021 präsentieren zu dürfen.

Die Reanimationsleitlinien des European Resuscitation Council (ERC) werden alle fünf Jahre aktualisiert – diesmal wegen der COVID-19-Pandemie ein wenig später – und basieren auf dem International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science des International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR), also auf der weltweit vorliegenden wissenschaftlichen Evidenz mit allen dazugehörigen wissenschaftlichen Publikationen.

» Für das Überleben zentrale Themen wie Laienreanimation und Ersthelfersysteme rücken mehr in den Fokus

In dieser Ausgabe finden Sie nun die durch den Deutschen Rat für Wiederbelebung (GRC), Österreichischen Rat für Wiederbelebung (ARC), Schweizer Rat für Wiederbelebung (SRC) und Luxemburgischen Rat für Wiederbelebung (LRC) autorisierte deutsche Übersetzung.

Zentrale Aussagen zur Durchführung einer Wiederbelebung und zur Postreanimationsbehandlung wurden 2021 weitgehend beibehalten. Gleichzeitig wurden viele Empfehlungen durch neue Literatur und aktuelle wissenschaftliche Evidenz noch besser begründet. Neu hinzugekommen sind die Kapitel „Epidemiologie“ und „Systeme, die Leben retten“. Dadurch rücken zentral für das Überleben wichtige Themen wie Laienreanimation, Telefonreanimation, Ersthelfersysteme (z. B. durch Apps), KIDS SAVE LIVES (die Schülerschulung in Wiederbelebung) und Cardiac Arrest Zentren deutlich mehr in den Vordergrund.

Im Kapitel „Epidemiologie“ stellen wir die aktuellen europäischen Zahlen zur Reanimation dar. Dabei zeigt sich, dass Deutschland im europäischen Vergleich mit einer Laienreanimationsquote von 40,2% – im Vergleich zu 58% im europäischen Durchschnitt und auch beim Überleben mit 11,2% im Vergleich zu anderen europäischen Ländern, die bis zu 18% Überleben erreichen – gerade mal im Mittelfeld liegt [1, 2].

Das Kapitel „Systeme, die Leben retten“ zeigt auf, dass es ein ganzes System und ein Zusammenspiel vieler Faktoren braucht, um das Überleben bestmöglich zu verbessern [3].

Damit passen die neuen Leitlinien auch perfekt zu den im letzten Jahr veröffentlichten BIG-FIVE-Überlebensstrategien nach Kreislaufstillstand, also fünf Strategien, mit denen die größte

Verbesserung des Überlebens erreicht werden kann [4].

Die Erhöhung der Laienreanimationsquote – Punkt 1 der BIG FIVE [4], von der eine Verdreifachung des Überlebens erwartet wird, spielt im Kapitel „Systeme, die Leben retten“ in den fünf Kernaussagen direkt eine doppelte Rolle. Hier wird gefordert, das Bewusstsein für Laienreanimation zu erhöhen, z. B. durch Beteiligung an Aktionstagen wie dem „World Restart a Heart Day“ (WRAH), sowie alle Schülerinnen und Schüler in Laienreanimation zu unterrichten (KIDS SAVE LIVES). Während die Beteiligung am WRAH in Deutschland sehr intensiv betrieben wird (selbst in Pandemiezeiten z. B. durch die Social-Media-Kampagne #MySongCanSaveLives), besteht bei der Schülerschulung noch erheblicher Handlungsbedarf. Obwohl seit 2014 eine Empfehlung des Schulausschusses der Kultusministerkonferenz existiert, fehlt es nahezu überall an einer flächendeckenden Umsetzung.

Von der Telefonreanimation – Punkt 2 der BIG FIVE [4] – wird eine Verdoppelung des Überlebens erwartet, von Ersthelfersystemen – Punkt 3 der BIG FIVE [4] – eine 1,2- bis 2-fachen Verbesserung. Beide werden in den Kernaussagen des neuen Leitlinienkapitels gefordert. In Deutschland sind mehrere Ersthelfersysteme etabliert, doch eine flächendeckende Umsetzung fehlt hier genauso wie bei der Telefonreanimation (nur 23,4% Telefonreanimation in 2019 [2]).

Punkt 4 der BIG FIVE [4] ist eine gute und flächendeckende Advanced-Life-Support(ALS)-Versorgung, von der eine Verdopplung des Überlebens erwartet wird. Hierzu zählen u. a. gute Notarztsysteme, wie sie bei uns flächendeckend umgesetzt sind.

Punkt 5 [4] sind sogenannte Cardiac Arrest Zentren, also spezialisierte Kliniken zur Versorgung von Patientinnen und Patienten nach präklinischem Kreislauf-Stillstand. Von ihnen wird eine Verdopplung des Überlebens erwartet, deshalb werden sie in den Kernaussagen des Leitlinienkapitels ebenfalls gefordert [3]. Kriterien für Cardiac Arrest Zentren sind in Deutschland seit 2017 vorhanden, Zertifizierungsaudits werden seit Ende 2018 durchgeführt und die Zahl der zertifizierten Zentren wächst stetig an [5, 6].

Die BIG-FIVE-Überlebensstrategien – und dabei insbesondere die ersten Glieder der Überlebenskette, damit Patientinnen und Patienten die Klinik erreichen – gewinnen zunehmend und weiter an Bedeutung. Die Politik ist gefordert, eine flächendeckende Umsetzung der hocheffektiven und das Überleben verbessernden Maßnahmen auch in Deutschland bzw. im deutschsprachigen Raum voranzutreiben.

Die Kapitel der neuen Leitlinien behandeln folgende Themen:

- Epidemiologie [1]
- Systeme, die Leben retten [3]
- Basismaßnahmen zur Wiederbelebung Erwachsener (Basic Life Support [BLS]) [7]
- Erweiterte Reanimationsmaßnahmen für Erwachsene (Advanced Life Support [ALS]) [8]
- Kreislaufstillstand unter besonderen Umständen [9]
- Postreanimationsbehandlung [10]
- Erste Hilfe [11]
- Versorgung und Reanimation des Neugeborenen nach der Geburt (Newborn Life Support [NLS]) [12]
- Lebensrettende Maßnahmen bei Kindern (Pediatric Life Support [PLS]) [13]
- Ethik [14]
- Ausbildung [15]

Eine Kurzversion „Leitlinien kompakt“ in deutscher Sprache war bereits zeit-

gleich zur Veröffentlichung der englischsprachigen Leitlinien (<https://www.cprguidelines.eu/>) auf der Website des GRC zu finden und ist dort weiterhin kostenfrei für alle abrufbar (<https://www.grc-org.de/wissenschaft/leitlinien>).

Wir danken allen Übersetzerinnen und Übersetzern, die diese zeitnahe Publikation der deutschsprachigen Leitlinien ermöglicht haben, sehr herzlich und wünschen Ihnen nun viel Vergnügen bei der Lektüre und natürlich sehr viel Erfolg bei Ihrer klinischen Patientenversorgung auf aktuellstem Niveau.

Und bitte helfen Sie alle mit, die BIG FIVE auch auf politischer Ebene in unseren Ländern voranzubringen. Unser Ziel ist es, in naher Zukunft in Europa nicht mehr nur „Mittelmaß“ zu sein.

Es grüßen Sie sehr herzlich

Nadine Rott

Burkhard Dirks

Bernd Böttiger

Köln und Ulm, im April 2021

Korrespondenzadresse

N. Rott

Deutscher Rat für Wiederbelebung – German Resuscitation Council (GRC) e. V., c/o Sektion Notfallmedizin, Universitätsklinikum Ulm 89070 Ulm, Deutschland
rott@grc-org.de

Interessenkonflikt. B.W. Böttiger ist Schatzmeister und Interim und Immediate Past Director Science and Research des European Resuscitation Council (ERC); Vorstandsvorsitzender des Deutschen Rats für Wiederbelebung/German Resuscitation Council (GRC); Mitglied im Präsidium der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI); Gründer der Deutschen Stiftung Wiederbelebung, Associated Editor des *European Journal of Anaesthesiology* (EJA); Mitherausgeber der Zeitschrift *Resuscitation*; Schriftleiter der Zeitschrift *Notfall + Rettungsmedizin*, Mitherausgeber der Zeitschrift *Brazilian Journal of Anesthesiology*. Für Vorträge hat er Honorare der folgenden Firmen erhalten: Forum für medizinische Fortbildung (FomF), Baxalta Deutschland GmbH, ZOLL Medical Deutschland GmbH, C. R. Bard GmbH, GS Elektromedizinische Geräte G. Stemple GmbH, Novartis Pharma GmbH, Philips GmbH Market DACH, Bioscience Valuation BSV GmbH. N. Rott ist Mitarbeiterin des GRC. B. Dirks ist Gründungsvorsitzender und Generalsekretär des Deutschen Rates für Wiederbelebung/German Resuscitation Council (GRC).

Literatur

1. Gräsner J-T, Herlitz J, Tjelmeland IBM et al (2021) Epidemiologie des Kreislaufstillstandes in Europa.

Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00884-y>

2. <https://www.reanimationsregister.de/downloads/oeffentliche-jahresberichte/rettungsdienst/168-oeffentlicher-jahresbericht-2019/file.html>. Zugegriffen: 12. Apr. 2021
3. Semeraro F, Greif R, Böttiger BW et al (2021) Lebensrettende Systeme Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00889-7>
4. Böttiger BW, Becker LB, Kern KB, Lippert F, Lockey A, Ristagno G, Semeraro F, Wingen S (2020) BIG FIVE strategies for survival following out-of-hospital cardiac arrest. *Eur J Anaesthesiol* 37(11):955–958. <https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000001247>
5. Rott N, Scholz KH, Busch HJ et al (2020) 50. Cardiac Arrest Center Audit – Zertifizierung erfolgreich etabliert. *Notfall Rettungsmed* 23:370. <https://doi.org/10.1007/s10049-020-00761-0>
6. Rott N, Scholz KH, Busch HJ, Frey N, Kelm M, Thiele H, Böttiger BW (2020) Cardiac arrest center certification for out-of-hospital cardiac arrest patients successfully established in Germany. *Resuscitation* 156:1–3. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.08.007>
7. Olasveengen TM, Semeraro F, Ristagno G et al (2021) Basismaßnahmen zur Wiederbelebung Erwachsener („Basic Life Support“, „BSL“) Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00885-x>
8. Soar J, Böttiger BW, Carli P et al (2021) Erweiterte lebensrettende Maßnahmen für Erwachsene. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00893-x>
9. Lott C, Truhlář A, Alfonso A et al (2021) Kreislaufstillstand unter besonderen Umständen. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00891-z>
10. Nolan JP, Sandroni C, Böttiger BW et al (2021) Postreanimationsbehandlung. Leitlinien des European Resuscitation Council und der European Society of Intensive Care Medicine 2021. Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00892-y>
11. Zideman DA, Singletary EM, Borra V et al (2021) Erste Hilfe. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00886-w>
12. Madara J, Roehr CC, Ainsworth S et al (2021) Versorgung und Reanimation des Neugeborenen nach der Geburt. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00894-w>
13. Van de Voorde P, Patrick, Turner MN, Djakow J et al (2021) Lebensrettende Maßnahmen bei Kindern („Paediatric Life Support, PLS“). Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00887-9>
14. Mentzelopoulos SD, Couper K, Van de Voorde P et al (2021) Ethik der Reanimation und Entscheidungen am Lebensende. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00888-8>
15. Greif R, Lockey A, Breckwoldt J et al (2021) Lehre in der Reanimation. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00890-0>



ADRENALIN – AUTOINJEKTOR

Ein Pen für alle Fälle



Zur
Notfallbehandlung
von akuten allergischen
Reaktionen
(Anaphylaxie)

Neue
Wirkstärke:
500µg



Jetzt unsere Homepage kennenlernen:
www.anapen2.de



Anapen® Junior 150 Mikrogramm Injektionslösung / Anapen® 300 Mikrogramm Injektionslösung / Anapen® 500 Mikrogramm Injektionslösung. Wirkstoff: Adrenalin (Epinephrin). **Zus.:** Anapen® Junior: Ein Milliliter enthält 0,5 mg Adrenalin (Epinephrin). Eine Dosis von 0,3 ml enthält 150 Mikrogramm Adrenalin (Epinephrin). Anapen® 300: Ein Milliliter enthält 1 mg Adrenalin (Epinephrin). Eine Dosis von 0,3 ml enthält 300 Mikrogramm Adrenalin (Epinephrin). Anapen® 500: Ein Milliliter enthält 1,7 mg Epinephrin (Adrenalin). Eine Dosis von 0,3 ml enthält 500 Mikrogramm Epinephrin (Adrenalin). Sonstige Bestandt.: Natriumchlorid, Natriummetabisulfit (E 223), Salzsäure, Wasser für Injektionszwecke. **Anw.:** Notfallbehandlung von akuten allergischen Reaktionen (Anaphylaxie), verursacht durch Erdnüsse oder andere

Nahrungsmittel, Arzneimittel, Insektenbisse oder -stiche und andere Allergene sowie belastungsinduzierte oder idiopathische Anaphylaxie. **Gegenanz:** Überempfindlichkeit gegen Adrenalin (Epinephrin) oder einen der sonstigen Bestandteile. Für die Verwendung von Anapen® / Anapen® Junior während eines allergischen Notfalls gibt es jedoch keine absoluten Kontraindikationen. **Nebenw.:** Hyperglykämie, Hypokaliämie, metabolische Azidose, Angstgefühle, Halluzinationen, Kopfschmerzen, Schwindel, Tremor, Synkopen, Mydriasis, Tachykardie, Herzrhythmusstörungen (Kammerflimmern/Herzstillstand), Palpitationen, plötzlicher Blutdruckanstieg (bis hin zur Hirnblutung), Vasokonstriktion (z. B. in der Haut, den Schleimhäuten und Nieren), Kältegefühl an den Extremitäten, Atembeschwerden, Übelkeit, Erbrechen, Miktionsstörungen mit Harnverhalt, Schwitzen,

Hautblässe, Schwäche, Bekommenheit, Nervosität, Muskelzittern. Aufgrund des Gehaltes an Natriummetabisulfit bei anfälligen Patienten: allergieähnliche Reaktionen, u. a. anaphylaktische Reaktionen, Asthmaanfälle. **Warnhinw.:** Sofort nach der Anwendung von Anapen® / Anapen® Junior einen Rettungswagen rufen und als Grund „Anaphylaxie“ angeben. Bitte die beigelegte Gebrauchsinformation lesen, bevor ein Notfall eintritt. Nur gemäß Anweisung Ihres Arztes anwenden. Zur einmaligen Anwendung. Enthält Natrium und Natriummetabisulfit (E 223). Packungsbeilage beachten. Arzneimittel für Kinder unzugänglich aufbewahren. **Verkaufsabgrenzung:** Verschreibungspflichtig. **Zulassungsinhaber:** Bioprojet Pharma, 9 rue Rameau, 75002 Paris, Frankreich. **Stand der Information:** 01/2021.



Notfall Rettungsmed 2021 · 24:274–345
<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00883-z>
 Angenommen: 19. April 2021
 Online publiziert: 2. Juni 2021
 © European Resuscitation Council (ERC),
 German Resuscitation Council (GRC), Austrian
 Resuscitation Council (ARC) 2021



Gavin D. Perkins^{1,2} · Jan-Thorsten Gräsner³ · Federico Semeraro⁴ ·
 Theresa Olasveengen⁵ · Jasmeet Soar⁶ · Carsten Lott⁷ · Patrick Van de Voorde^{8,9} ·
 John Madar¹⁰ · David Zideman¹¹ · Spyridon Mentzelopoulos¹² · Leo Bossaert¹³ ·
 Robert Greif^{14,15} · Koen Monsieurs¹⁶ · Hildigunnur Svavarsdóttir^{17,18} ·
 Jerry P. Nolan^{1,19} · Autoren der Leitlinien des European Resuscitation Council

¹ Warwick Clinical Trials Unit, Warwick Medical School, University of Warwick, Coventry, Großbritannien; ² University Hospitals Birmingham, Birmingham, Großbritannien; ³ Institute for Emergency Medicine, University Hospital Schleswig-Holstein, Kiel, Deutschland; ⁴ Department of Anaesthesia, Intensive Care and Emergency Medical Services, Maggiore Hospital, Bologna, Italien; ⁵ Department of Anesthesiology, Oslo University Hospital and Institute of Clinical Medicine, University of Oslo, Oslo, Norwegen; ⁶ Southmead Hospital, North Bristol NHS Trust, Bristol, Großbritannien; ⁷ Department of Anesthesiology, University Medical Center, Johannes Gutenberg-University Mainz, Mainz, Deutschland; ⁸ Department of Emergency Medicine, Faculty of Medicine, Ghent University, Ghent, Belgien; ⁹ Federal Department of Health, EMS Dispatch Center, East-West Flanders, Gent, Belgien; ¹⁰ Department of Neonatology, University Hospitals Plymouth, Plymouth, Großbritannien; ¹¹ Thames Valley Air Ambulance, Stokenchurch, Großbritannien; ¹² Medical School, National and Kapodistrian University of Athens, Athen, Griechenland; ¹³ University of Antwerp, Antwerpen, Belgien; ¹⁴ Department of Anaesthesiology and Pain Medicine, Bern University Hospital, University of Bern, Bern, Schweiz; ¹⁵ School of Medicine, Sigmund Freud University Vienna, Wien, Österreich; ¹⁶ Department of Emergency Medicine, Antwerp University Hospital and University of Antwerp, Antwerpen, Belgien; ¹⁷ Akureyri Hospital, Akureyri, Island; ¹⁸ University of Akureyri, Akureyri, Island; ¹⁹ Royal United Hospital, Bath, Großbritannien

Kurzfassung

Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Zusatzmaterial online

Die Online-Version dieses Beitrags (<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00883-z>) enthält die Conflict Of Interest (COI) Policy European Resuscitation Council. Beitrag und Zusatzmaterial stehen Ihnen auf www.springermedizin.de zur Verfügung. Bitte geben Sie dort den Beitragstitel in die Suche ein, das Zusatzmaterial finden Sie beim Beitrag unter „Ergänzende Inhalte“.



Einführung

Ziel des European Resuscitation Council (ERC) ist „to preserve human life by making high quality resuscitation available to all“ [1].

Dazu gehört die Erstellung aktueller evidenzbasierter europäischer Leitlinien

zur Prävention und Behandlung von Kreislaufstillstand und lebensbedrohlichen Notfällen.

Die ersten ERC-Leitlinien wurden 1992 in Brighton vorgestellt und umfassten Basismaßnahmen [2] und erweiterte Maßnahmen zur Wiederbelebung [3]. 1994 kamen auf dem zweiten Kongress in Mainz Leitlinien für lebensrettende Maßnahmen bei Kindern (PLS) [4] und Leitlinien für die Behandlung von Periarrest-Arrhythmien [5] hinzu, 1996 folgten Leitlinien für das grundlegende und erweiterte Management der Atemwege und der Beatmung während der Wiederbelebung [6] auf dem dritten Kongress in Sevilla und 1998 aktualisierte Leitlinien [7, 8] auf dem 4. wissenschaftlichen Kongress des ERC in Kopenhagen. Im Jahr 2000 wurden in Zusammenarbeit mit dem International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) [9] internationale Leitlinien erstellt [9], die der ERC 2001 zusammenfasste [10]. Danach gab der ERC alle 5 Jahre Leitlinien heraus: 2005 [11], 2010 [12] und 2015 [13]. Seit 2017 publiziert der ERC jährliche Updates

[14, 15] verbunden mit der Publikation des ILCOR 'Consensus on Science and Treatment Recommendations' (CoSTR) [16, 17]. 2020 wurden Leitlinien zur Wiederbelebung im Zusammenhang mit der Coronaviruserkrankung 2019 (COVID-19) veröffentlicht [18]. Die aktuellen ERC-Leitlinien 2021 repräsentieren ein umfassendes Update der Wissenschaft der Reanimation und bieten die aktuellsten evidenzbasierten Leitlinien für Laien, Fachpersonal und Verantwortliche für die Gesundheitspolitik in Europa.

Die Leitlinien wurden mit dem generischen Maskulin übersetzt. Bitte beachten Sie, dass alle Personenbezeichnungen gleichermaßen für beide Geschlechter gelten.

Die Autoren der Leitlinien des European Resuscitation Council werden am Beitragsende gelistet.

Die Übersetzung beruht auf der Version vom 29.01.2021. Bis zur Publikation des englischen Originals in *Resuscitation* wurden in manchen Kapiteln Literaturstellen korrigiert oder andere Änderungen vorgenommen, die den Sinn nicht wesentlich ändern.

International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR)

Das ILCOR wurde gegründet, um durch Wiederbelebung weltweit mehr Leben zu retten [19, 20]. Diese Vision wird durch internationale Förderung, Verbreitung und Unterstützung evidenzbasierter Wiederbelebung und Erster Hilfe mithilfe transparenter Evaluierung und Bildung eines Konsenses über wissenschaftliche Daten verfolgt.

Der ERC ist eines der Gründungsmitglieder des ILCOR und arbeitet weiterhin eng mit dem ILCOR zusammen, um diese Ziele zu erreichen.

Eine Schlüsselaktivität des ILCOR ist die systematische Bewertung von Evidenz, um zu einem internationalen wissenschaftlichen Konsens mit Behandlungsempfehlungen zu kommen. Der Konsens wurde ursprünglich alle 5 Jahre erstellt, 2017 ging das ILCOR zu einer kontinuierlichen Evidenzbewertung über. CoSTR 2020 wurde im Oktober 2020 veröffentlicht und umfasst 184 strukturierte wissenschaftliche Reviews zur Wiederbelebung [21–29], die die hier vorgestellten ERC-Leitlinien prägen.

Prozess der Leitlinienentwicklung

Gesundheitssysteme berücksichtigen zunehmend qualitativ hochwertige, evidenzbasierte Leitlinien für die klinische Praxis. Da der Einfluss solcher Leitlinien zugenommen hat und die Stringenz des Evidenzbewertungsprozesses, der den Inhalt von Leitlinien prägt, zugenommen hat, wurde darauf geachtet, die Standards und die Transparenz des Prozesses der Leitlinienentwicklung zu erhöhen [30].

Das Institute of Medicine hat 2011 Qualitätsstandards für Leitlinien für die klinische Praxis festgelegt [31], kurz darauf auch das Guidelines International Network [32]. Die ERC-Leitlinien richten sich nach den vom Guidelines International Network entwickelten Grundsätzen für die Leitlinienentwicklung [32]. Dies umfasst die Orientierungshilfen zur Zusammensetzung des Gremiums, zum Entscheidungsprozess, zu Interessen-

konflikten, zum Leitlinienziel, zur Entwicklungsmethodik, zur Überprüfung der Evidenz, zur Grundlage der Empfehlungen, zur Bewertung von Evidenz und Empfehlungen sowie zur Leitlinienrevision, zur Aktualisierung von Prozessen und zur Finanzierung. Vor Beginn des Leitlinienentwicklungsprozesses wurde vom ERC-Vorstand ein schriftliches Protokoll entwickelt und genehmigt, das den Ablauf der Leitlinienentwicklung beschreibt.

Zusammensetzung der Arbeitsgruppe für die Leitlinienentwicklung

Die Satzung und die Geschäftsordnung des ERC (<https://erc.edu/about>) legen formell den Prozess fest, nach dem der ERC seine Arbeitsgruppen für Leitlinienentwicklung einsetzt. Der Direktor für Leitlinien und ILCOR wird von der General Assembly des ERC gewählt und beauftragt, den Leitlinienprozess zu koordinieren. Er wurde von einem Guideline Development Committee unterstützt: Director Guidelines and ILCOR (Chair), Co-chairs Science der vier ständigen Arbeitsgruppen (BLS/AED; ALS; PLS; NLS), andere Mitglieder (Director of Training, Director of Science, ERC Vice Chair, ERC Chair, Editor-in-Chief Resuscitation, Writing Group Chairs) und ERC-Geschäftsstellenmitarbeiter.

Der ERC-Vorstand legte die in den ERC-Leitlinien behandelten Themen fest und ernannte die Vorsitzenden und Mitglieder der ERC-Leitlinien-Autorengruppen. Nach Überprüfung auf Interessenkonflikte (wie nachstehend beschrieben) wurden die Autoren vom Vorstand ernannt. Die Mitglieder wurden aufgrund ihrer „credibility“ als führende (oder aufstrebende) Wissenschaftler/Kliniker/Methodologen für Wiederbelebung ernannt, um ein Gleichgewicht zwischen Berufen (Medizin, Krankenpflege, Rettungsdienst), jungen Wissenschaftlern, Geschlecht und ethnischer Zugehörigkeit und ein geografisches Gleichgewicht in ganz Europa und zwischen Vertretern der wesentlichen Interessengruppen zu erreichen. Die ernannten Autorengruppen hatten 12–15 Mitglieder. Die meisten Auto-

ren waren Ärzte (88%), daneben Mitglieder aus den klinischen Bereichen Krankenpflege, Physiotherapie und Ergotherapie sowie Wissenschaftler. Ein Viertel der Autoren waren weiblich und 15% standen am Beginn ihrer Karriere. Die Autoren kamen aus 25 Ländern, darunter Österreich, Belgien, Kroatien, Zypern, Tschechische Republik, Dänemark, Frankreich, Deutschland, Griechenland, Holland, Island, Irland, Italien, Niederlande, Norwegen, Polen, Rumänien, Russland, Serbien, Spanien, Sudan, Schweden, Schweiz, Vereinigte Staaten von Amerika und Vereinigtes Königreich.

Die Aufgabenbeschreibung für Autoren umfasste:

- Klinische und wissenschaftliche Expertise für die Leitlinienentwicklung.
- Teilnahme an den Telefonkonferenzen der Autoren.
- Systematisches Reviewing der veröffentlichten Literatur zu spezifischen Themen auf Bitte der Autorengruppe.
- Darstellung der Reviewergebnisse und Diskussion innerhalb der Gruppe zu spezifischen Themen.
- Entwicklung und Verfeinern von Algorithmen und Leitlinien für die klinische Praxis.
- Erfüllen der Anforderungen des International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE) für die Urheberschaft.
- Bereitschaft, öffentlich für den Inhalt der Leitlinien verantwortlich zu zeichnen und ihre Akzeptanz zu fördern.
- Beachtung der ERC-Regeln zu Interessenkonflikten.

Entscheidungsprozesse

Die ERC-Leitlinien basieren auf den ILCOR CoSTR [21–29]. Wenn Behandlungsempfehlungen vom ILCOR vorgegeben werden, wurden diese vom ERC übernommen. In Bereichen, in denen keine relevante Behandlungsempfehlung bestand, wurde, um zu Empfehlungen zu kommen, die Evidenz durch die Arbeitsgruppe geprüft und diskutiert, bis ein Konsens erzielt wurde. Die Vorsitzenden der Autorengruppen stellten sicher, dass jeder Einzelne in der Arbeitsgruppe

die Möglichkeit hatte, seine Ansichten darzulegen und zu diskutieren, und dass die Diskussionen offen und konstruktiv waren. Alle Mitglieder der Gruppe mussten die Empfehlungen billigen. Wurde kein Konsens erreicht, wird das in der Formulierung der Empfehlung unmissverständlich klargestellt. Das Quorum für die Führung der Geschäfte und die Erzielung des Konsenses betrug mindestens 75 % der Autoren.

Die Gültigkeit der Leitlinien und die finalen Leitlinien wurden der ERC-General Assembly vorgelegt und von dieser genehmigt.

Interessenkonflikte

Interessenkonflikte („conflict of interest“, COI) wurden nach den ERC-Regeln für COI behandelt (siehe ergänzendes Material). Mitglieder der Autorengruppe haben jedes Jahr eine COI-Erklärung abgegeben. Die COI-Erklärung wurde vom Governance-Ausschuss geprüft und an den ERC-Vorstand berichtet. Interessenkonflikte der Autoren wurden während der Erarbeitung der Leitlinien auf der ERC-Website veröffentlicht [33].

Der Vorsitzende und mindestens 50 % der Autorengruppe mussten frei von kommerziellen Interessenkonflikten sein. Nach Ermessen des Vorsitzenden konnten Mitglieder der Autorengruppe mit einem COI weiterhin an Diskussionen zu diesem Thema teilnehmen, waren jedoch nicht an der Ausarbeitung oder Billigung von Empfehlungen beteiligt.

Der ERC unterhält finanzielle Beziehungen zu Geschäftspartnern, die die Gesamtarbeit des ERC unterstützen [34]. Die Entwicklung der ERC-Leitlinien erfolgt völlig unabhängig vom Einfluss der Geschäftspartner.

Geltungsbereich der Leitlinien

Die ERC-Leitlinien bieten Handlungsempfehlungen durch ihr Netzwerk von 33 nationalen Resuscitation Councils. Das Zielpublikum sind Laien, Ersthelfer, Mitarbeiter medizinischer Berufe, Rettungsdienstmitarbeiter, Krankenhauspersonal, Ausbilder und Lehrpersonal sowie Verantwortliche in Gesundheitspolitik und -praxis. Die Leitlinien sind für

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:274–345 <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00883-z>
© European Resuscitation Council (ERC), German Resuscitation Council (GRC), Austrian Resuscitation Council (ARC) 2021

G. D. Perkins · J.-T. Gräsner · F. Semeraro · T. Olasveengen · J. Soar · C. Lott · P. Van de Voorde · J. Madar · D. Zideman · S. Mentzelopoulos · L. Bossaert · R. Greif · K. Monsieurs · H. Svavarsdóttir · J. P. Nolan · Autoren der Leitlinien des European Resuscitation Council

Kurzfassung. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Zusammenfassung

Die Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 basieren auf einer Reihe systematischer Übersichtsarbeiten, Scoping-Reviews und Aktualisierungen der Evidenz des International Liaison Committee on Resuscitation und stellen die aktuellsten evidenzbasierten Leitlinien für die Praxis der Wiederbelebung in ganz Europa dar. Die Leitlinien umfassen die Epidemiologie des Kreislaufstillstands, die Rolle, die Systeme bei der Rettung von Menschenleben spielen, die Basismaßnahmen der Wiederbelebung Erwachsener, die erweiterten Reanima-

tionsmaßnahmen bei Erwachsenen, die Wiederbelebung unter besonderen Umständen, die Postreanimationsbehandlung, die Erste Hilfe, die Versorgung und Reanimation von Neugeborenen, die lebensrettenden Maßnahmen bei Kindern, die Ethik und die Ausbildung.

Schlüsselwörter

Wiederbelebung · Leitlinien für die klinische Praxis · COVID19 · Basismaßnahmen der Reanimation · Erweiterte Maßnahmen

Executive summary. European Resuscitation Council Guidelines 2021

Abstract

Informed by a series of systematic reviews, scoping reviews and evidence updates from the International Liaison Committee on Resuscitation, the 2021 European Resuscitation Council Guidelines present the most up to date evidence-based guidelines for the practice of resuscitation across Europe. The guidelines cover the epidemiology of cardiac arrest; the role that systems play in saving lives, adult basic life support, adult

advanced life support, resuscitation in special circumstances, post resuscitation care, first aid, neonatal life support, paediatric life support, ethics and education.

Keywords

Resuscitation · Guidelines für clinical practice · COVID19 · Basic life support · Advanced life support

die Verwendung in der Öffentlichkeit sowohl außerhalb des Krankenhauses wie auch im Krankenhaus relevant. Der Rahmen der einzelnen Leitlinienkapitel wurde Anfang 2019 von den Autoren entwickelt. Der Leitlinienrahmen wurde im Mai 2019 für 2 Wochen zur Kommentierung durch die Öffentlichkeit publiziert, bevor er im Juni 2019 von der ERC-Generalversammlung abschließend genehmigt wurde.

Die Leitlinien umfassen folgende Themen:

- Epidemiologie [35]
- Systeme, die Leben retten [36]
- Basismaßnahmen zur Wiederbelebung Erwachsener [37]
- Erweiterte Reanimationsmaßnahmen für Erwachsene [38]
- Besondere Umstände [39]

- Postreanimationsbehandlung (in Zusammenarbeit mit der Europäischen Gesellschaft für Intensivmedizin) [40]
- Erste Hilfe [41]
- Reanimationsmaßnahmen für Neugeborene [42]
- Reanimationsmaßnahmen für Kinder [43]
- Ethik [44]
- Ausbildung [45]

Methodik

Der Stufenprozess der Leitlinienentwicklung wird in **Abb. 1** dargestellt.

Kurz gesagt definierte der ERC-Vorstand die Themenbereiche, die in den Leitlinien behandelt werden sollen, und ernannte die jeweiligen Autoren. Die Au-

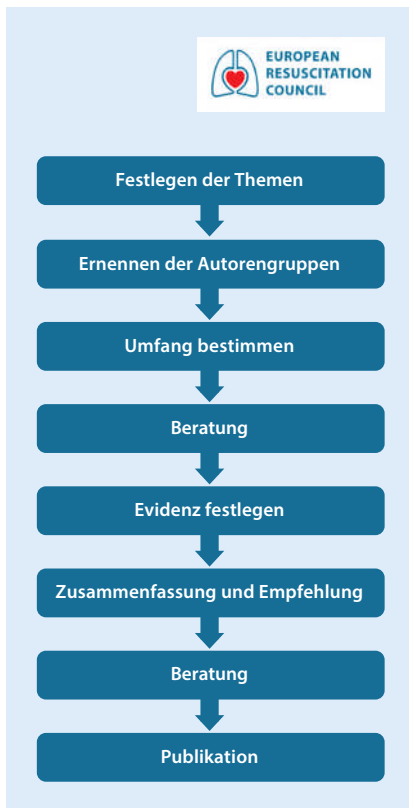


Abb. 1 ▲ Stufenprozess der Entwicklung der ERC-Leitlinien

torengruppen entwickelten den Rahmen anhand einer standardisierten Vorlage.

Der Rahmen enthielt das Gesamtziel, die Zielgruppe, die Situation, in der sie verwendet werden sollen, und die Schlüsselthemen, die behandelt werden sollen.

Der Leitlinienrahmen wurde zur Kommentierung durch die Öffentlichkeit publiziert, überarbeitet und danach wie im vorherigen Abschnitt dargestellt genehmigt.

Die Autoren identifizierten dann die relevante Evidenz, stellten sie dar, fassten sie zusammen und präsentierten sie als Leitlinienempfehlung. Der Leitlinienentwurf wurde vor Peer Review und Genehmigung durch die Hauptversammlung noch einmal zur Stellungnahme durch die Öffentlichkeit publiziert.

Evidenzprüfungen

Die ERC-Leitlinien werden durch den „ILCOR-Evidence-Evaluation“-Prozess geprägt, der an anderer Stelle ausführlich beschrieben wird [23]. Zusammenfassend hat das ILCOR seit 2015 3 Arten der

Evidenzbewertung durchgeführt: systematische Reviews, Scoping-Reviews und Aktualisierungen der Evidenz.

Die systematischen ILCOR-Reviews folgen methodischen Prinzipien, die vom Institut für Medizin, der Cochrane Collaboration und in Grading of Recommendations Assessment, Development, and Evaluation (GRADE) beschrieben werden [46]. Die Reviews werden nach den Preferred Reporting Items for a Systematic Review and Meta-Analysis (PRISMA) erstellt ([47]; ■ Tab. 1).

Die systematischen ILCOR-Reviews wurden durch Scoping-Reviews ergänzt, die entweder direkt vom ILCOR oder von Mitgliedern der ERC-Autorengruppen durchgeführt wurden. Im Gegensatz zu systematischen Reviews (die tendenziell eine fokussierte/enge Fragestellung haben) verfolgen Scoping-Reviews einen breiteren Ansatz zu einem Thema und versuchen, Ausdehnung, Umfang und Art der Forschungstätigkeit zu untersuchen und abzubilden [23]. Dies ermöglichte den Leitlinienautoren, narrative Zusammenfassungen eines breiteren Themenspektrums zu erstellen, als dies nur durch systematische Reviews möglich gewesen wäre. Scoping-Reviews folgten dem vom ILCOR festgelegten Rahmen und wurden nach der PRISMA-Erweiterung für Scoping-Reviews dargestellt [48]. Anders als die systematischen Reviews konnten weder die ILCOR- noch die ERC-Scoping-Reviews zu einem formellen CoSTR führen.

Die letzte vom ILCOR verwendete Methode der Evidenzbewertung waren Evidenzaktualisierungen [23]. Diese wurden entworfen, um Themen zu behandeln, die seit mehreren Jahren nicht mehr formal überprüft wurden, um festzustellen, ob neue Evidenz bekannt geworden ist, die eine formelle Überprüfung veranlassen soll. Evidenzaktualisierungen gaben entweder die Gewissheit, dass frühere Behandlungsempfehlungen gültig bleiben, oder zeigten die Notwendigkeit, einen früheren systematischen Review zu aktualisieren. Für sich führten Evidenzaktualisierungen zu keinen Änderungen an CoSTR.

Systematische Überprüfungen von anderen Organisationen konnten auf-

genommen werden, wenn sie nach AMSTAR- (Bewertung der methodischen Qualität systematischer Überprüfungen) [49] und PRISMA-Empfehlungen [47] durchgeführt, in Public Domain publiziert und Peer Review unterworfen waren.

Wenn Themen von Interesse nicht in den Arbeitsbereich der vom ILCOR überprüften Evidenz fielen, führten die ERC-Autoren Scoping-Reviews durch, um die verfügbare Evidenz, die zusammengefasst Schlüsselinformationen und -themen mit dem gleichen Ansatz wie ILCOR abzubilden.

Empfehlungen der Leitlinien

Kurz gefasste Leitlinien für die klinische Praxis

Die meisten ERC-Leitlinien werden in Notfällen angewandt, in denen effizientes, zeitnahes Handeln entscheidend ist. Die kurz gefassten Leitlinien in diesem Kapitel zur klinischen Praxis sollen klare, prägnante Empfehlungen mit leicht verständlichen Algorithmen bieten, um dem Leser eindeutige Schritt-für-Schritt-Anleitungen zu geben. Daher enthalten diese Teile der Leitlinien keine Informationen über den Evidenzgrad oder die Stärke der Empfehlung. Diese Informationen werden stattdessen in der Evidenzinformation der einzelnen Leitlinienkapitel gegeben.

Evidenz, die die Leitlinien prägt

Formale ERC-Behandlungsempfehlungen beschränken sich auf diejenigen, die aus den ILCOR CoSTR stammen. Die ILCOR CoSTR werden nach einer strengen Evidenzbewertung erstellt, die auf GRADE beruht. Die detaillierten Schritte sind in der Zusammenfassung des ILCOR-Evidenzbewertungsprozesses beschrieben. Kurz gesagt bieten diese Behandlungsempfehlungen eine Zusammenfassung der Evidenzsicherheit und der Empfehlungsstärke. Die Evidenzsicherheit (Qualität) reicht von sehr niedrig bis hoch (siehe ■ Tab. 2).

Die Stärke der ILCOR-Empfehlungen spiegelt wider, wie weit die Task Force glaubte, dass die erwünschten Effekte einer Maßnahme oder Intervention die unerwünschten überwiegen würden.

Tab. 1 Zusammenfassung der Prozessschritte für die CoSTR 2020 SysRevs (reproduziert aus [23])

Task Forces wählen Fragen aus, priorisieren und verfeinern sie (im PICOST-Format)
Task Forces ordnen den Stellenwert des Outcomes für den Einzelnen zu
Task Forces weisen dem SysRev-Team die PICOST-Frage zu ^a
SysRev ist bei PROSPERO registriert
Das SysRev-Team arbeitet mit Informatikspezialisten zusammen, um datenbankspezifische Suchstrategien zu entwickeln und zu optimieren
Überarbeitete Suchstrategien durchsuchen Datenbanken
Durch die Suche identifizierte Artikel werden von den beauftragten Mitgliedern des SysRev-Teams anhand von Einschluss- und Ausschlusskriterien gefiltert
Das SysRev-Team stimmt über die endgültige Liste der Studien ab, die eingeschlossen werden sollen
Das SysRev-Team stimmt über die Bewertung des Bias einzelner Studien ab
Evidenz-Profil-Tabelle nach GRADE erstellt
Entwurf des CoSTR vom SysRev-Team erstellt
Entscheidungsrahmen durch Task Force vervollständigt
Aufforderung an die Öffentlichkeit, zu den Entwürfen der CoSTR Stellung zu nehmen
Detaillierte iterative Überprüfung der CoSTR, um die endgültige Version zu erstellen
Peer Review des endgültigen CoSTR-Dokuments

CoSTR Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations, d. h. Konsens über kardiopulmonale Wiederbelebung und kardiopulmonale Notfallversorgung mit Behandlungsempfehlungen, GRADE Grading of Recommendations Assessment, Development, and Evaluation, PICOST population, intervention, comparison, outcome, study design, time frame, PROSPERO International Prospective Register of Systematic Reviews, SysRev systematic review

^aDas Systematic Review Team konnte eine Einheit sein, die das Wissen zusammenführt, ein ausgewiesener systematischer Reviewer oder ein von einer Task Force geführtes Team, an dem Fachexperten der ILCOR-Task Force(s) und ein Delegierter der Arbeitsgruppe für die kontinuierliche Evidenzbewertung und des wissenschaftlichen Beirats beteiligt waren

Tab. 2 Sicherheit (Qualität) der Evidenz für ein bestimmtes Ergebnis (oder durch mehrere Ergebnisse)

Sicherheitslevel	Beschreibung
Hoch	Wir sind sehr sicher, dass der wahre Effekt nahe am Schätzwert liegt
Mäßig	Wir sind mäßig sicher: Der tatsächliche Effekt liegt wahrscheinlich nahe am Schätzwert, es besteht jedoch die Möglichkeit, dass er wesentlich abweicht
Niedrig	Unser Vertrauen in die Schätzung des Effekts ist begrenzt: Der wahre Effekt kann sich erheblich vom Schätzwert unterscheiden
Sehr niedrig	Wir haben sehr wenig Vertrauen in die Schätzung des Effekts: Der wahre Effekt unterscheidet sich wahrscheinlich erheblich vom Schätzwert

Solche Überlegungen wurden durch das von GRADE entwickelte „Evidence to Decision Framework“ geprägt, das die Abwägung der erwünschten und unerwünschten Effekte, von Beweissicherheit, Nutzen, Balance der Effekte, erforderlichen Ressourcen, Evidenzwahrscheinlichkeit der erforderlichen Ressourcen, Kosteneffizienz, Gerechtigkeit, Akzeptanz und Machbarkeit erlaubt. Es gab 2 Hauptstärken der Empfehlung:

- Eine starke Empfehlung zeigt, dass die Task Force sicher war, dass die erwünschten Effekte die uner-

wünschten überwiegen. Starke Empfehlungen verwenden typischerweise Begriffe wie „wir empfehlen“.

- Bei schwachen Empfehlungen, bei denen die Task Force nicht sicher war, dass die gewünschten Effekte die unerwünschten überwiegen, wird typischerweise der Begriff „wir schlagen vor“ verwendet.

Es gibt viele Bereiche der Reanimationsforschung, bei denen es entweder keine oder nur unzureichende Evidenz gibt, um eine evidenzbasierte Behandlungs-

empfehlung zu formulieren. In diesem Fall wird die Expertenmeinung der Autoren dargestellt. Die Leitlinien formulieren klar, welche Aspekte der Leitlinien evidenzbasiert sind und welche Expertenmeinung darstellen.

Konsultation der Interessengruppen und Peer Review

Entwürfe der ERC-Richtlinien wurden zwischen dem 21. Oktober und 5. November 2020 auf der ERC-Website zur öffentlichen Kommentierung publiziert. Die Möglichkeit, zu den Leitlinien Stellung zu nehmen, wurde über soziale Medien (Facebook, Twitter) und das ERC-Netzwerk der 33 nationalen Wiederbelebungsräte beworben. Der Leitlinieninhalt für jedes Kapitel wurde auch in einer kurzen (15-minütigen) Videopräsentation im Rahmen des virtuellen ERC-Kongresses 2020 präsentiert, gefolgt von Fragen und einer Podiumsdiskussion. Diejenigen, die Feedback gaben, mussten sich vorstellen und relevante Interessenkonflikte angeben.

Es gingen 164 schriftliche Kommentare ein. Sie kamen von Ärzten (45%), Pflegepersonal (8%), Rettungsdienstpersonal (28%), anderen (11%), Ausbildern (5%) und Laien (3%). 15% gaben einen Interessenkonflikt an, von dem zwei Drittel kommerziell und ein Drittel akademisch waren. Feedbackkommentare wurden an die Vorsitzenden für das jeweilige Kapitel weitergeleitet und von den Autoren vollständig berücksichtigt. Sie nahmen relevante Änderungen an den Kapiteln vor.

Ein endgültiges Manuskript der Leitlinien wurde den Mitgliedern der ERC-General Assembly im Dezember 2020 zum Peer Review vorgelegt. Die Vorsitzenden der Autorengruppen (oder ihre Stellvertreter) beantworteten Fragen, und die endgültigen Leitlinien wurden genehmigt und Ende Dezember 2020 zur Veröffentlichung eingesandt.

Aktualisierungen der Handlungsempfehlungen

Das ILCOR begann 2016 einen kontinuierlichen Evidenzevaluationsprozess. CoSTR werden auf der ILCOR-Web-

site veröffentlicht. Ergänzt wird dies durch eine jährliche Zusammenfassung, die in „Circulation“ und „Resuscitation“ veröffentlicht wird.

Der ERC begrüßt den vom ILCOR entwickelten neuen, reaktionsschnellen Ansatz zur Evidenzsynthese. Zur Umsetzung dieses Ansatzes hat der ERC überlegt, wie die vom ILCOR veranlassenen Änderungen am besten in unsere Leitlinien integriert werden können.

Der ERC erkennt den erheblichen Zeit-, Arbeits- und Ressourcenaufwand, der erforderlich ist, um Änderungen an den Reanimationsleitlinien umzusetzen. Der ERC ist sich auch der Verwirrung bewusst, die durch häufige Änderungen der Leitlinien verursacht werden kann. Sie kann die technischen und nicht-technischen Fähigkeiten beeinträchtigen und das Patientenergebnis nachteilig beeinflussen. Wenn jedoch neue wissenschaftliche Erkenntnisse entstehen, die überzeugende Beweise für Nutzen oder Schaden liefern, muss sofort gehandelt werden, um sie in die klinische Praxis umzusetzen.

Um diese widersprüchlichen Prioritäten auszugleichen, hat der ERC beschlossen, einen 5-Jahres-Zyklus für die routinemäßigen Aktualisierungen seiner Leitlinien und Kursmaterialien beizubehalten. Jeder neue vom ILCOR veröffentlichte CoSTR wird von den ERC Guidelines Development Committees geprüft, um die wahrscheinlichen Auswirkungen des neuen CoSTR auf unsere Leitlinien und Ausbildungsprogramme zu bewerten. Die Arbeitsgruppen werden die möglichen Auswirkungen der Implementierung eines neuen CoSTR (gerettete Leben, verbessertes neurologisches Ergebnis, reduzierte Kosten) gegen den Aufwand (Kosten, logistische Konsequenzen, Verbreitung und Kommunikation) prüfen. CoSTR, die überzeugende neue Daten enthalten, die die aktuellen Leitlinien oder die Ausbildungsstrategie des ERC infrage stellen, werden mit hoher Priorität umgesetzt. Leitlinien und Kursmaterialien werden dann außerhalb des 5-Jahres-Überprüfungszeitraums aktualisiert. Dagegen werden neue Informationen, die zu weniger kritischen, schrittweisen Änderungen unserer Leitlinien führen, mit

niedrigerer Priorität implementiert. Solche Änderungen werden während der routinemäßigen 5-Jahres-Aktualisierung der Leitlinien eingeführt.

Verfügbarkeit

Alle ERC-Leitlinien und Updates sind über die ERC-Website und als Veröffentlichung im offiziellen ERC-Journal *Resuscitation* frei verfügbar.

National Resuscitation Councils können die ERC-Leitlinien für die lokale Verwendung übersetzen.

Finanzielle Unterstützung und Sponsoring

Die Leitlinienentwicklung wird vom European Resuscitation Council (ERC) unterstützt. Der ERC ist eine gemeinnützige Organisation nach belgischem Recht vom 27. Juni 1921. Die Gründungssatzung und die Geschäftsordnung des ERC finden sich unter: <https://erc.edu/about>. Der ERC-Vorstand legt jährlich ein Budget fest, um den Leitlinienprozess zu unterstützen.

Das offizielle Journal des ERC ist *Resuscitation*, ein internationales Peer-Review-Journal von Elsevier. Der Chefredakteur sorgt für die redaktionelle Unabhängigkeit der Zeitschrift, er hat einen Sitz im ERC-Vorstand. Leitlinien werden normalerweise in *Resuscitation* veröffentlicht.

COVID-19-Leitlinien

Der ERC hat Leitlinien veröffentlicht, um Laien und Angehörige der Gesundheitsberufe abzusichern, die während der COVID-19-Pandemie reanimieren [18]. Seit Veröffentlichung dieser ersten Leitlinien haben Berichte aus ganz Europa [50–61] die Auswirkungen von COVID-19 auf die Epidemiologie und das Patientenoutcome nach Kreislaufstillstand gezeigt.

Einfluss von COVID-19 auf den Kreislaufstillstand

Ein systematisches Review, der Informationen aus 10 Studien mit 35.379 Teilnehmern zusammenfasst, fand einen

Anstieg der Inzidenz des Kreislaufstillstands außerhalb des Krankenhauses während der ersten COVID-19-Welle [62]. Die, in der systematischen Übersicht ausgewerteten, Studien zeigten eine signifikante klinische und statistische Heterogenität, daher wird hier eine narrative Synthese vorgestellt. Das Muster des Kreislaufstillstands änderte sich während des COVID-19-Zeitraums mit einer Zunahme der medizinischen Ursachen des Kreislaufstillstands (4 von 5 Studien) und einer Verringerung des traumabedingten Kreislaufstillstands (4 von 5 Studien). Die Zahl der häuslichen Kreislaufstillstände nahm zu und dies wirkte sich unterschiedlich darauf aus, ob der Stillstand beobachtet wurde. Die Häufigkeit der kardiopulmonalen Reanimation (CPR) durch Notfallzeugen variierte zwischen den Studien (6 Studien berichteten über niedrigere Häufigkeit der CPR durch Notfallzeugen, 4 über höhere). Die Reaktionszeiten der Notfallrettung waren verlängert und von Rettungskräften wurden seltener Reanimationsversuche begonnen oder fortgesetzt. Der Anteil der Patienten mit schockbaren Rhythmen nahm ebenso ab wie die Anwendung automatisierter externer Defibrillatoren (AED). Die Verwendung von supraglottischen Atemwegen (SGA) nahm zu und die Intubationsquote sank. Insgesamt reduzierte sich die Häufigkeit des „return of spontaneous circulation“ (ROSC; Rückkehr eines Spontankreislaufs), die Zahl der Krankenhausaufnahme und der Krankenhauserlassung [62, 63].

Die Veränderungen der Epidemiologie, der Behandlung und des Outcomes des Kreislaufstillstands während COVID-19 sind wahrscheinlich auf eine Kombination aus direkten und indirekten Wirkungen zurückzuführen, wie **Abb. 2** zusammenfasst [64, 65].

Daten über innerklinischen Kreislaufstillstand im Zusammenhang mit COVID-19 werden weniger häufig berichtet. Eine multizentrische Kohortenstudie von 68 Intensivstationen in den USA ergab, dass 701 von 5019 Patienten (14%) im Krankenhaus einen Kreislaufstillstand erlitten, von denen bei 400 der 701 (57%) eine Reanimation durchgeführt wurde. Die Krankenhauserlassung

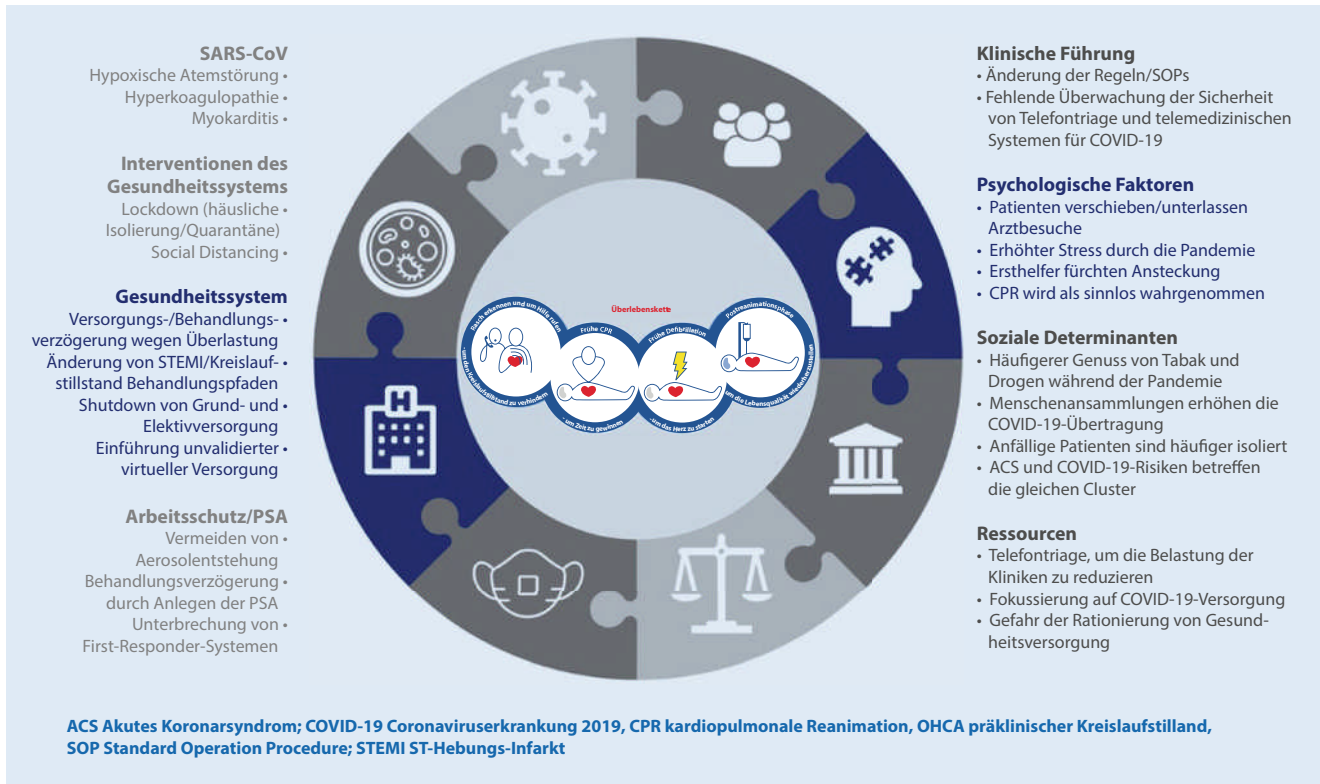


Abb. 2 ▲ Faktoren auf Systemebene zur Inzidenz und Mortalität von OHCA während der COVID-19-Pandemie (nach Christian und Couper [64])

sung überlebten 7% (28 von 400) mit normalem oder leicht beeinträchtigtem neurologischem Status [66]. In Wuhan, China, überlebten 4 von 136 Patienten (2,9%) mit Kreislaufstillstand (davon 83% auf einer Station) 30 Tage. Ein Patient wies ein günstiges neurologisches Outcome auf [67]. Es ist eindeutig, dass durch die Bank COVID-19 außerhalb des Krankenhauses und im Krankenhaus einen signifikanten Einfluss auf die Epidemiologie und den Reanimationserfolg hatte.

ERC-COVID-19-Leitlinien

Die ERC-Leitlinien basierten auf dem systematischen ILCOR-Review zu COVID-19 und der CPR [68] und dem entsprechenden CoSTR [69]. Nach Veröffentlichung dieses Reviews wurden die Suchstrategien wiederholt und weitere 4 Artikel gefunden [70–74]. Keiner der neuen Artikel enthielt genug Informationen, um die bisherigen Behandlungsempfehlungen zu ändern.

Die ERC-COVID-19-Leitlinien unterstützen weiterhin Wiederbelebungs-

versuche sowohl beim Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses („out-of-hospital cardiac arrest“, OHCA) als auch im Krankenhaus („in-hospital cardiac arrest“, IHCA) und versuchen dabei, das Risiko für die behandelnde(n) Person(en) gering zu halten. Die COVID-19-Leitlinien fokussieren speziell auf Patienten mit vermutetem oder bestätigtem COVID-19. Wenn Ungewissheit über eine COVID-19-Erkrankung besteht, soll die Behandlung von einer dynamische Risikobewertung abhängig gemacht werden. Dabei sollen die aktuelle COVID-19-Prävalenz, die Anamnese des Patienten (z.B. ein bekannter COVID-19-Kontakt, COVID-19-Symptome), die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Behandlung, die Verfügbarkeit von persönlicher Schutzausrüstung (PSA) und das persönliche Risiko für die Ersthelfer berücksichtigt werden [18].

Die COVID-19-Leitlinien werden kontinuierlich überprüft und online aktualisiert, sobald neue Erkenntnisse vorliegen. Die ERC-Standardleitlinien beziehen sich auf die Wiederbelebung von negativ getesteten Personen oder sol-

chen mit geringem Risiko für COVID-19.

Kurz gefasste Leitlinien für die klinische Praxis

Epidemiologie

In diesem Abschnitt der Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 werden wichtige Informationen zur Epidemiologie und zum Ergebnis eines Kreislaufstillstands innerhalb und außerhalb eines Krankenhauses vorgestellt. Wichtige Beiträge aus dem European Registry of Cardiac Arrest (EuReCa) werden hervorgehoben. Es werden Empfehlungen gegeben, die es den Gesundheitssystemen ermöglichen, Register als Plattform zur Qualitätsverbesserung zu entwickeln und Informationen zur Planung des Gesundheitssystems sowie zu Reaktionen auf den Kreislaufstillstand zu geben. Die wichtigen Aussagen aus diesem Abschnitt sind in **Abb. 3** dargestellt.

EPIDEMIOLOGIE 2021

5 KERNAUSSAGEN



REGISTER

- 1.**
 - In jedem Gesundheitssystem sollen die Inzidenz, der Case Mix, die Behandlung und das Outcome von Patienten mit einem Kreislaufstillstand erfasst werden.
 - Der Registerdatensatz soll auf den Empfehlungen des Utstein-Datensatzes aufgebaut sein.

PRÄKLINISCHER KREISLAUFSTILLSTAND

- 2.**
 - Die in Reanimationsregistern erfassten Daten sollen als Planungsgrundlage für die Entwicklung des Rettungsdienstes genutzt werden.
 - Alle Reanimationsregister in Europa sind aufgerufen, sich am European Registry of Cardiac Arrest (EuReCa) Netzwerk zu beteiligen.

INNERKLINISCHER KREISLAUFSTILLSTAND

- 3.**
 - Daten aus Reanimationsregistern sollen zur Verbesserung der Entwicklung des Gesundheitssystems und zur Verbesserung der Behandlung des Kreislaufstillstandes genutzt werden.

LANGZEITÜBERLEBEN

- 4.**
 - Kliniker sollen auf die Langzeitfolgen eines überlebten Kreislaufstillstands achten. Eine spezialisierte Behandlung ist notwendig.

REHABILITATION

- 5.**
 - Mehr wissenschaftliche Studien über und ein größeres Angebot an Rehabilitationsmaßnahmen für Patienten nach überlebtem Herz-Kreislauf-Stillstand sind notwendig.

Cardiac Arrest Zentren für die Postreanimationsbehandlung.

- Das Überleben bei der Krankenhausentlassung variiert zwischen 0 % und 18 %, durchschnittlich 8 %.
- Unterschiede bei den Rettungsdiensten in Europa sind zumindest für einige der Unterschiede der OHCA-Inzidenz und des Überlebens verantwortlich.

Innerklinischer Kreislaufstillstand (IHCA)

- Die jährliche Inzidenz von IHCA in Europa liegt zwischen 1,5 und 2,8 pro 1000 Krankenhauseinweisungen.
- Mit dem Überleben verbundene Faktoren sind der Anfangsrhythmus, der Ort des Kreislaufstillstands und das Ausmaß des Monitorings zum Zeitpunkt des Kollapses.
- Die Überlebensraten nach 30 Tagen bzw. Krankenhausentlassung liegen zwischen 15 und 34 %.

Langzeitergebnisse

- In europäischen Ländern, in denen die Beendigung lebenserhaltender Maßnahmen (WLST) routinemäßig praktiziert wird, wird bei >90 % der überlebenden Patienten ein gutes neurologisches Ergebnis beobachtet. Die meisten Patienten erlangen ihre Arbeitsfähigkeit zurück.
- In Ländern, in denen WLST nicht praktiziert wird, sind schlechte neurologische Ergebnisse häufiger (50 %, 33 % im Wachkoma).
- Unter Überlebenden mit gutem neurologischem Ergebnis sind Müdigkeit, neurokognitive und emotionale Probleme häufig und führen zu einer verringerten gesundheitsbedingten Lebensqualität.
- Patienten und Angehörige können eine posttraumatische Belastungsstörung entwickeln.

Rehabilitation nach Kreislaufstillstand

- Das Angebot von Rehabilitationsleistungen nach Kreislaufstillstand ist sehr unterschiedlich.
- Viele Patienten haben keinen Zugang zur Rehabilitation nach stattgehabtem Kreislaufstillstand.

Abb. 3 ▲ Infografik zur Epidemiologie

Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses (OHCA)

- 29 Länder arbeiteten am European Registry of Cardiac Arrest (EuReCa) mit.
- In etwa 70 % der europäischen Länder gibt es Register für den präklinischen Kreislaufstillstand, aber die Vollständigkeit der Datenerfassung ist sehr unterschiedlich.
- Die jährliche Inzidenz des OHCA in Europa liegt zwischen 67 und 170 pro 100.000 Einwohner.
- In 50–60 % der Fälle (zwischen 19 und 97 pro 100.000 Einwohner) wird

eine Wiederbelebung durch Rettungskräfte versucht oder fortgesetzt.

- Die Laienreanimationsquote variiert zwischen und innerhalb der Länder (durchschnittlich 58 %, Bereich: 13–83 %).
- Der Einsatz automatisierter externer Defibrillatoren (AED) ist in Europa nach wie vor gering (durchschnittlich 28 %, Bereich: 3,8–59 %).
- 80 % der europäischen Länder bieten Telefonreanimation an, 75 % haben ein AED-Register. Die meisten Länder (90 %) haben Zugang zu



Abb. 4 ▲ Infografik zu Systemen, die Leben retten

Wichtige Empfehlungen (Expertenkonsens)

- Gesundheitssysteme sollen bevölkerungsbezogene Reanimationsregister haben, die die Inzidenz, den Case Mix, die Behandlung und den Reanimationserfolg nach einem Kreislaufstillstand überwachen.
- Register sollen die Utstein-Empfehlungen für Datendefinition und Ergebnisberichte einhalten.
- Daten aus Registern sollen die Planung des Gesundheitssystems und die Reaktionen auf einen Kreislaufstillstand beeinflussen.

- Die europäischen Länder werden aufgefordert, an EuReCa-mitzuarbeiten, um das Verständnis für die Epidemiologie und den Reanimationserfolg in Europa zu verbessern.
- Es besteht Forschungsbedarf und Bedarf für mehr Rehabilitationsangebote nach einer Wiederbelebung.
- Es wird erwartet, dass die klinische Rolle genetischer und epigenetischer Faktoren zunehmend verstanden wird, wenn die Forschung in diesem Bereich weiter intensiviert wird. Derzeit gibt es keine spezifischen Wiederbelebungsempfehlungen für

Patienten mit bekannter genomischer Veranlagung.

Systeme, die Leben retten

Der European Resuscitation Council hat diese Leitlinien über lebensrettende Systeme basierend auf dem International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations 2020 erstellt. Behandelt werden folgende Themen: die Überlebenskette, die Messung der Reanimationsqualität, soziale Medien und Smartphone-Apps für die Einbindung der Bevölkerung, der „European Restart a Heart Day“, die „World Restart a Heart“-Kampagne, die „KIDS SAVE LIVES“-Kampagne, der Umgang mit geringeren Ressourcen, die European Resuscitation Academy und die Global Resuscitation Alliance, Frühwarnsysteme, Frühwarnscores und Medical Emergency Teams (MET), Cardiac Arrest Zentren und die Rolle der Leitstellendisponenten. Die wichtigsten Botschaften aus diesem Abschnitt sind in **Abb. 4** dargestellt.

Überlebenskette und Überlebensformel

- Die Maßnahmen, die den Patienten mit plötzlichem Kreislaufstillstand mit dem Überleben verbinden, werden als Überlebenskette bezeichnet.
- Das Ziel, mehr Leben zu retten, erreicht man nicht nur mit solider, hochwertiger Wissenschaft, sondern auch mit effektiver Ausbildung von Laien und Angehörigen der Gesundheitsberufe.
- Systeme, die sich mit der Versorgung des Kreislaufstillstands befassen, sollen in der Lage sein, ressourceneffizient das Überleben eines Kreislaufstillstands zu verbessern.

Messung der Effizienz von Reanimationssystemen

- Organisationen oder Gemeinschaften, die den Kreislaufstillstand behandeln, sollen ihre Systemleistung bewerten und Schlüsselbereiche bestimmen, um die Leistung zu verbessern.

Soziale Medien und Smartphone-Apps zur Einbindung der Bevölkerung

- Ersthelfer (geschulte und ungeschulte Laien, Feuerwehrleute, Polizisten und dienstfreie Angehörige der Gesundheitsberufe), die sich in der Nähe eines vermuteten präklinischen Kreislaufstillstands befinden, sollen von der Leitstelle über eine Smartphone-App oder eine Textnachricht alarmiert werden.
- Jedes europäische Land wird nachdrücklich aufgefordert, solche Technologien zu implementieren, um
 - ... den Anteil der durch Ersthelfer begonnenen CPR zu erhöhen.
 - ... die Zeit bis zur ersten Thoraxkompression und Defibrillation zu verkürzen.
 - ... das Überleben mit guter neurologischer Funktion zu verbessern.

„European Restart a Heart Day“ (ERHD) und „World Restart a Heart“ (WRAH)

- Nationale „Resuscitation Councils“, nationale Regierungen und lokale Behörden sollen
 - ... sich an WRAH beteiligen.
 - ... das Bewusstsein für die Bedeutung von CPR und AED durch Notfallzeugen schärfen.
 - ... so viele Bürger wie möglich ausbilden.
 - ... neue innovative Systeme und Strategien entwickeln, die mehr Leben retten.

KIDS SAVE LIVES

- Alle Schulkinder sollen jedes Jahr regelmäßig ein CPR-Training erhalten.
- Unterrichte: „Prüfen – Rufen – Drücken“.
- Ausgebildete Schulkinder sollen ermutigt werden, Familienmitglieder und Freunde zu unterweisen. Alle Kinder sollen nach einem solchen Training die Hausaufgabe bekommen: „Bitte schult innerhalb der nächsten 2 Wochen 10 weitere Personen und gebt eine Rückmeldung.“
- CPR-Schulungen sollen auch in Hochschuleinrichtungen durchgeführt werden, insbesondere für

Studenten für Lehramt und Gesundheitsberufe.

- Die Verantwortlichen in den Bildungsministerien und/oder Kultusministerien und andere führende Politiker jedes Landes sollen ein landesweites Programm für den CPR-Unterricht für Schulkinder implementieren. Die Ausbildung von Schulkindern in CPR soll in ganz Europa und andernorts gesetzlich vorgeschrieben sein.

Gesellschaftsinitiativen zur Förderung der Umsetzung von CPR

- Die Gesundheitssysteme sollen Initiativen von CPR-Schulungen für große Teile der Bevölkerung (Nachbarschaft, Stadt, Region, Teile von oder ganze Nation) umsetzen.

Ressourcenarmes Umfeld Wiederbelebungs-forschung in ressourcenarmem Umfeld.

- Forschung ist erforderlich, um verschiedene Populationen, Ätiologien und den Reanimationserfolg beim Kreislaufstillstand in ressourcenarmem Umfeld zu verstehen. Die Forschung soll den Utstein-Regeln folgen.
- Die Höhe des Einkommens der Länder soll in die Berichte aufgenommen werden. Ein nützliches System zur Meldung des Einkommensniveaus ist die Definition der Weltbank (Bruttonationaleinkommen pro Kopf).
- Bei der Berichterstattung über Reanimationssysteme und -ergebnisse sollen psychologische und soziokulturelle Ansichten zum Kreislaufstillstand dokumentiert werden.
- Experten mit unterschiedlichem Ressourcenhintergrund sollen zur lokalen Akzeptanz und Anwendbarkeit internationaler Leitlinien und Empfehlungen für die Wiederbelebung konsultiert werden.

Essenzielle Ressourcen für Wiederbelebungs-systeme in ressourcenarmem Umfeld.

- In Zusammenarbeit mit Interessengruppen aus ressourcenarmem Umfeld soll eine Liste mit wichtigen Ressourcen für die Wiederbele-

bung erstellt werden, die speziell an niedrige Ressourcenverfügbarkeit angepasst ist.

Europäische Resuscitation Academy und Global Resuscitation Alliance.

- Programme wie die der European Resuscitation Academy sollen implementiert werden, um die Laienreanimationsquote zu erhöhen und das Überleben bei präklinischem Kreislaufstillstand zu verbessern.

Rolle des Leitstellendisponenten Abfrageunterstützte Erkennung eines Kreislaufstillstands.

- Leitstellen sollen standardisierte Kriterien und Algorithmen einführen, um festzustellen, ob ein Patient zum Zeitpunkt des Notrufs einen Kreislaufstillstand hat.
- Leitstellen sollen ihre Fähigkeit zum Erkennen eines Kreislaufstillstands beobachten, bewerten und kontinuierlich nach Möglichkeiten suchen, um das Erkennen eines Kreislaufstillstands zu verbessern.

Telefonreanimation.

- Leitstellen sollen über Systeme verfügen, die sicherstellen, dass der Disponent CPR-Anweisungen für Personen gibt, die nicht reagieren und nicht normal atmen.

Telefonreanimation mittels alleiniger Thoraxkompressionen im Vergleich zur Standard-CPR.

- Disponenten sollen Anrufern, die erkennen, dass ein Erwachsener nicht reagiert und nicht normal atmet, CPR-Anweisungen zu alleinigen Thoraxkompressionen geben.

Frühwarnscores, „Rapid-Response-Systeme“ und medizinische Notfallteams

- Erwägen Sie die Einführung von „Rapid-Response-Systemen“ (innerklinischen Notfallteams), um die Häufigkeit des Kreislaufstillstands und die Mortalität im Krankenhaus zu reduzieren.



Abb. 5 ▲ BLS-Infografik

Cardiac Arrest Zentren

- Erwachsene Patienten mit präklinischem, nichttraumatischem Kreislaufstillstand sollen nach lokalen Regeln zu einem Cardiac Arrest Zentrum transportiert werden.

Basismaßnahmen zur Wiederbelebung Erwachsener

Der ERC hat Basismaßnahmen zur Wiederbelebung (BLS) erstellt, basierend auf dem International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations 2020. Die

behandelten Themen umfassen Erkennen des Kreislaufstillstands, Alarmierung des Rettungsdienstes, Thoraxkompressionen, Beatmung bzw. Atemspende, automatisierte externe Defibrillation, CPR-Qualitätskontrolle, neue Technologien, Sicherheit und Verlegung der Atemwege durch Fremdkörper.

Die BLS-Autorengruppe priorisierte die Übereinstimmung mit früheren Leitlinien [75], um Vertrauen zu erhalten und zum Handeln zu ermutigen, wenn ein Kreislaufstillstand auftritt. Das Nichterkennen des Kreislaufstillstands bleibt ein Hindernis für die Rettung

weiterer Leben. Die im ILCOR CoSTR verwendete Wortwahl [76], CPR bei jedem Menschen zu starten, der „nicht reagiert und nicht normal atmet“, wurde in die BLS-Leitlinien 2021 übernommen. Wer CPR lernt oder leistet, wird daran erinnert, dass langsames, mühsames Atmen (agonales Atmen) als Zeichen eines Kreislaufstillstands betrachtet werden soll. Die Seitenlage ist im Abschnitt „Erste Hilfe“ der ERC-Leitlinien 2021 enthalten [41]. Dort wird betont, dass die Seitenlage nur bei Erwachsenen und Kindern mit Bewusstseinsstrübung durch eine Erkrankung oder ein nichtkörperliches Trauma verwendet werden soll. Die Leitlinien betonen, dass die Seitenlage nur angewendet werden soll, wenn **keine** Atemspende oder Thoraxkompression notwendig ist. Die Atmung eines Patienten in Seitenlage muss lückenlos überwacht werden. Jeder Patient, dessen Atmung zu irgendeinem Zeitpunkt aussetzt oder nicht normal ist, muss wieder in die Rückenlage gebracht werden und es muss mit den Thoraxkompressionen begonnen werden. Schließlich wurde die Evidenz für die Behandlung von Atemwegsobstruktionen durch Fremdkörper umfassend aktualisiert, der Behandlungsalgorithmus bleibt jedoch gleich.

Die Kernaussagen aus diesem Abschnitt sind in [Abb. 5](#), der BLS Algorithmus in [Abb. 6](#) dargestellt.

Erkennen eines Kreislaufstillstands

- Beginnen Sie mit CPR bei jeder Person, die nicht reagiert und nicht bzw. nicht normal atmet.
- Langsames, mühsames Atmen (Schnappatmung) soll als Zeichen eines Kreislaufstillstands betrachtet werden.
- Zu Beginn des Kreislaufstillstands können kurze Zeit krampfanfallähnliche Bewegungen auftreten. Reagiert der Patient danach nicht und atmet er nicht normal, beginnen Sie mit der CPR.

So alarmieren Sie die Rettungsdienste

- Alarmieren Sie sofort den Rettungsdienst, wenn eine Person bewusstlos ist und nicht oder nicht normal atmet.

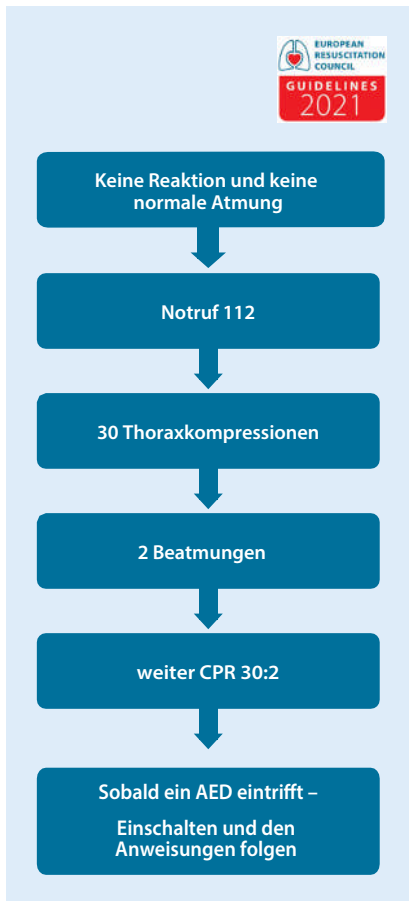


Abb. 6 ▲ BLS-Algorithmus

- Notfallzeugen mit Mobiltelefon sollen die Notfallnummer wählen, den Lautsprecher oder eine andere Freisprechoption des Mobiltelefons aktivieren, sofort die CPR starten und sich vom Leitstellendisponenten unterstützen lassen.
- Sind Sie der einzige Ersthelfer und müssen den Betroffenen für die Alarmierung des Rettungsdienstes verlassen, alarmieren Sie zuerst den Rettungsdienst und starten Sie dann die CPR.

Hochwertige Thoraxkompressionen

- Beginnen Sie mit den Thoraxkompressionen so früh wie möglich.
- Druckpunkt: untere Hälfte des Brustbeins („mitten auf der Brust“).
- Drucktiefe: mindestens 5 cm, jedoch nicht mehr als 6 cm.
- Frequenz: 100–120/min, unterbrechen Sie so selten wie möglich.

- Entlasten Sie den Thorax nach jeder Kompression; lehnen Sie sich nicht auf die Brust.
- Führen Sie, wo immer möglich, die Thoraxkompressionen auf einem harten Untergrund durch.

Atemspende

- Wechseln Sie zwischen 30 Kompressionen und 2 Atemspenden.
- Wenn Sie nicht in der Lage sind zu beatmen, führen Sie die Thoraxkompressionen kontinuierlich durch.

Automatisierter externer Defibrillator (AED)

So finden Sie einen AED.

- Der Standort eines AED soll durch eine eindeutige Beschilderung angezeigt sein.

Wann und wie setzt man einen AED ein.

- Sobald ein AED am Ort des Kreislaufstillstands verfügbar ist, schalten Sie ihn ein.
- Kleben Sie die Elektrodenpads auf die nackte Brust des Betroffenen, wie es auf dem AED oder den Pads gezeigt wird.
- Wenn mehr als ein Ersthelfer anwesend ist, setzen Sie die CPR fort, während die Pads vom zweiten Ersthelfer aufgeklebt werden.
- Befolgen Sie die Sprach- (und/oder Bild-)Anweisungen des AED.
- Stellen Sie sicher, dass niemand den Betroffenen berührt, während der AED den Herzrhythmus analysiert.
- Wenn ein Schock empfohlen wird, überzeugen Sie sich, dass niemand den Betroffenen berührt. Drücken Sie den Schockknopf, wenn Sie dazu aufgefordert werden und setzen Sie die CPR sofort danach mit 30 Kompressionen fort.
- Wenn kein Schock empfohlen wird, setzen Sie sofort die CPR mit 30 Kompressionen fort.
- Fahren Sie in beiden Fällen mit der CPR fort, wie vom AED angegeben. Es wird normalerweise 2 min dauern, bevor der AED zu einer weiteren Pause der CPR zur Rhythmusanalyse auffordert.

Thoraxkompressionen vor der Defibrillation.

- Führen Sie ununterbrochen Thoraxkompressionen durch, bis ein AED (oder ein anderer Defibrillator) vor Ort eintrifft, eingeschaltet und am Patienten angelegt ist.
- Wenn der AED einsatzbereit ist, verzögern Sie die Defibrillation nicht für weitere Thoraxkompressionen.

Vollautomatische AED.

- Wenn ein Schock empfohlen wird, sind vollautomatische AED so programmiert, dass sie selbsttätig einen Schock auslösen. Die Sicherheit vollautomatischer AED ist bislang nicht gut untersucht.

Sicherheit eines AED.

- Viele Studien zu öffentlich zugänglichen Defibrillatoren („public access defibrillation“, PAD) zeigen, dass AED von Laien und professionellen Ersthelfern („First Respondern“) sicher angewendet werden können. Obwohl Schäden beim Ersthelfer bei der Schockabgabe äußerst selten sind, sollen Sie während der Schockabgabe keine Thoraxkompressionen durchführen.

Sicherheit

- Stellen Sie sicher, dass Sie, der Patient und alle Umstehenden in Sicherheit sind.
- Laien sollen eine CPR bei einem vermuteten Kreislaufstillstand einleiten, ohne Bedenken zu haben, den Betroffenen zu schädigen.
- Laienhelfer können sicher Thoraxkompressionen durchführen und einen AED verwenden, da das Infektionsrisiko bei Thoraxkompressionen und der Schaden durch einen unbeabsichtigten Schock des AED sehr gering ist.
- Für die Wiederbelebung bei akutem respiratorischem Syndrom durch mögliches oder bestätigtes Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) wurden gesonderte Leitlinien erstellt. Siehe www.erc.edu/covid

Wie Technologie helfen kann

- Die Rettungsdienste sollen den Einsatz von Technologien wie Smartphones, Videokommunikation, künstlicher Intelligenz und Drohnen in Betracht ziehen, um beim Erkennen eines Kreislaufstillstands zu unterstützen, Ersthelfer zu schicken, mit Notfallzeugen zu kommunizieren, zur Telefonreanimation anzuleiten und um AED an den Ort des Kreislaufstillstands zu bringen.

Fremdkörperverlegung der Atemwege

- Ziehen Sie einen Erstickungsanfall durch eine Fremdkörperverlegung der Atemwege in Betracht, wenn jemand plötzlich würgt und nicht mehr sprechen kann, insbesondere beim Essen.
- Fordern Sie den Betroffenen zum Husten auf.
- Bleibt das Husten wirkungslos, schlagen Sie ihm bis zu 5-mal auf den Rücken:
 - Beugen Sie den Betroffenen hierzu vornüber.
 - Schlagen Sie mit der Handwurzel 5-mal zwischen die Schulterblätter.
- Sind Schläge auf den Rücken unwirksam, drücken Sie bis zu 5-mal auf den Oberbauch:
 - Stellen Sie sich hinter den Betroffenen und legen Sie beide Arme um seinen Oberbauch.
 - Lehnen Sie den Betroffenen vornüber.
 - Ballen Sie eine Faust und legen Sie sie zwischen Nabel und Brustkorb.
 - Fassen Sie Ihre Faust mit der anderen Hand und ziehen Sie ruckartig nach innen und oben.
- Wenn der Erstickungsanfall nach 5 Oberbauchkompressionen nicht beseitigt ist, fahren Sie abwechselnd mit 5 Schlägen auf den Rücken und 5 Oberbauchkompressionen fort, bis der Zustand des Betroffenen sich bessert oder der Betroffene bewusstlos wird.
- Wenn der Betroffene bewusstlos wird, beginnen Sie mit CPR.

Erweiterte Reanimationsmaßnahmen für Erwachsene

Dieser Abschnitt enthält Leitlinien zur Prävention und zu den erweiterten Reanimationsmaßnahmen (ALS) des Kreislaufstillstands innerhalb und außerhalb des Krankenhauses, die der ERC basierend auf dem International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations 2020 erstellt hat.

Wesentliche Änderungen gibt es in den ALS-Leitlinien für Erwachsene 2021 nicht. Es gibt eine größere Gewissheit, dass Patienten mit Kreislaufstillstand innerhalb und außerhalb des Krankenhauses Warnzeichen zeigen und dass viele dieser Kreislaufstillstände vermeidbar wären. Hochwertige Thoraxkompression mit minimaler Unterbrechung und frühe Defibrillation haben weiterhin Priorität. Beginnen Sie während der CPR mit dem Basismanagement der Atemwege und intensivieren Sie die Maßnahmen je nach Erfahrung schrittweise, bis eine effektive Beatmung erreicht ist. Sofern erweiterte Atemwegstechniken, wie z. B. eine Intubation, erforderlich sind, sollen diese nur Ersthelfer mit großer Intubationserfahrung durchführen. Der Expertenkonsens besagt, dass große Intubationserfahrung einem Erfolg von >95 % bei 2 Intubationsversuchen entspricht. Wenn Adrenalin eingesetzt wird, soll es so schnell wie möglich verwendet werden, wenn der Rhythmus nichtdefibrillierbar ist, sowie nach 3 Defibrillationsversuchen bei einem defibrillierbaren Rhythmus. Die Leitlinie berücksichtigt die zunehmende Rolle des Point-of-Care-Ultraschalls (POCUS) bei der Periarrest-Versorgung für die Diagnose, betont jedoch, dass ein erfahrener Anwender erforderlich ist und dass Unterbrechungen der Thoraxkompressionen minimiert werden müssen. Die Leitlinie spiegelt die zunehmende Evidenz für extrakorporale CPR (eCPR) als Rescue Therapie für ausgewählte Patienten mit Kreislaufstillstand wider, wenn herkömmliche ALS-Maßnahmen fehlschlagen. Sie kann auch bei Rahmenbedingungen, unter denen sie möglich ist, spezifische Interventionen wie z. B. Koronarangiographie und perkutane Koronarintervention (PCI),

pulmonale Thrombektomie bei massiver Lungenembolie oder Wiedererwärmung nach hypothermem Kreislaufstillstand erleichtern. Diese ERC-Leitlinien folgen europäischen und internationalen Leitlinien für die Behandlung von Periarrest-Arhythmien.

Die Kernaussagen dieses Abschnitts werden in [Abb. 7](#) und der ALS-Algorithmus in [Abb. 8](#) dargestellt.

Prävention des innerklinischen Kreislaufstillstands („in-hospital cardiac arrest“, IHCA)

- Der ERC unterstützt die gemeinsame Entscheidungsfindung und den Vorsorgedialog, die die Reanimationsentscheidung in Notfallbehandlungspläne integrieren, um die Klarheit der Behandlungsziele zu erhöhen und zu verhindern, dass neben der CPR andere, indizierte Behandlungen unbeabsichtigt vorzuenthalten werden. Diese Pläne sollen konsequent dokumentiert werden (siehe Ethik, Abschn. 11).
- Kliniken sollen ein Track-Trigger-Frühwarnsystem zum frühen Erkennen von Patienten verwenden, die schwer krank sind oder bei denen das Risiko einer klinischen Verschlechterung besteht.
- Kliniken sollen das Personal hinsichtlich der Erkennung, Überwachung und sofortigen Therapie des akut erkrankten Patienten schulen.
- Kliniken sollen alle Mitarbeiter anweisen, Hilfe zu rufen, wenn sie einen Patienten identifizieren, bei dem das Risiko einer klinischen Verschlechterung besteht. Darunter fallen auch Hilferufe, die lediglich auf klinischen Bedenken und nicht auf konkreten Vitalparametern beruhen.
- Kliniken sollen klare Regeln für das Vorgehen bei abnormalen Vitalfunktionen und kritischen Krankheitszuständen festlegen. Dies kann die Benachrichtigung eines Intensivpflegeteams und/oder eines Notfallteams (z. B. ein medizinisches Notfallteam, ein „Rapid-Response-Team“) sein.
- Das Klinikpersonal soll strukturiert kommunizieren, um eine effektive Informationsweitergabe sicherzustellen.



Abb. 7 ▲ ALS Infografik

- Die Patienten sollen in einem klinischen Bereich betreut werden, der über das für die Schwere der Erkrankung geeignete Personal, Fähigkeiten und Einrichtungen verfügt.
- Kliniken sollen Kreislaufstillstandereignisse analysieren, um Möglichkeiten zur Systemverbesserung zu finden und wichtige Erfahrungen mit dem Personal auszutauschen.

Prävention des Kreislaufstillstands außerhalb des Krankenhauses („out-of-hospital cardiac arrest“, OHCA)

- Symptome wie Synkope (insbesondere bei Anstrengung, im Sitzen oder in Rückenlage), Herzklopfen, Schwindel und plötzliche Atemnot, die mit einer Arrhythmie einhergehen, sollen untersucht werden.
- Scheinbar gesunde junge Erwachsene, die einen plötzlichen Herztod („sudden cardiac death“, SCD) erleiden, können Zeichen und Symptome (z. B. Synkope, Präsynkope, Brust-

schmerz und Herzklopfen) aufweisen, die das medizinische Personal dazu bringen sollen, fachkundige Hilfe hinzuzuziehen, um einen Kreislaufstillstand zu verhindern.

- Junge Erwachsene mit charakteristischen Symptomen einer arrhythmischen Synkope sollen mit einem Elektrokardiogramm (EKG) und in den meisten Fällen einer Echokardiographie sowie einem Belastungstest von einem Kardiologen beurteilt werden.
- Die systematische Abklärung des Risikos in darauf spezialisierten Kliniken wird insbesondere für Personen empfohlen, die in der Familie junge Opfer eines SCD beklagen, oder für Patienten mit einer bekannten kardialen Störung, die mit einem erhöhten SCD-Risiko einhergeht.
- Das Erkennen von genetischer Vorbelastung und das Screening von Familienmitgliedern können dazu beitragen, Todesfälle bei jungen Menschen mit erbten Herzerkrankungen zu verhindern.
- Befolgen Sie die aktuellen Leitlinien der European Society of Cardiology (ESC) zur Diagnose und Behandlung von Synkopen.

Behandlung des innerklinischen Kreislaufstillstands (IHCA)

- Kliniken sollen systematisch das Ziel verfolgen, einen IHCA zu erkennen, die CPR sofort zu starten und gegebenenfalls schnell (< 3 min) zu defibrillieren.
- Alle Klinikmitarbeiter sollen in der Lage sein, einen Kreislaufstillstand schnell zu erkennen, Hilfe zu rufen, die CPR zu starten und zu defibrillieren: einen AED anzulegen und die Sprachanweisungen zu befolgen oder einen manuellen Defibrillator zu verwenden.
- Europäische Kliniken sollen eine einheitliche „Herzalarm“-Standardnummer (2222) einführen.
- Kliniken sollen ein Reanimationsteam haben, das sofort auf IHCA reagiert.
- Alle Mitglieder des Klinikreanimationsteams sollen einen akkreditierten

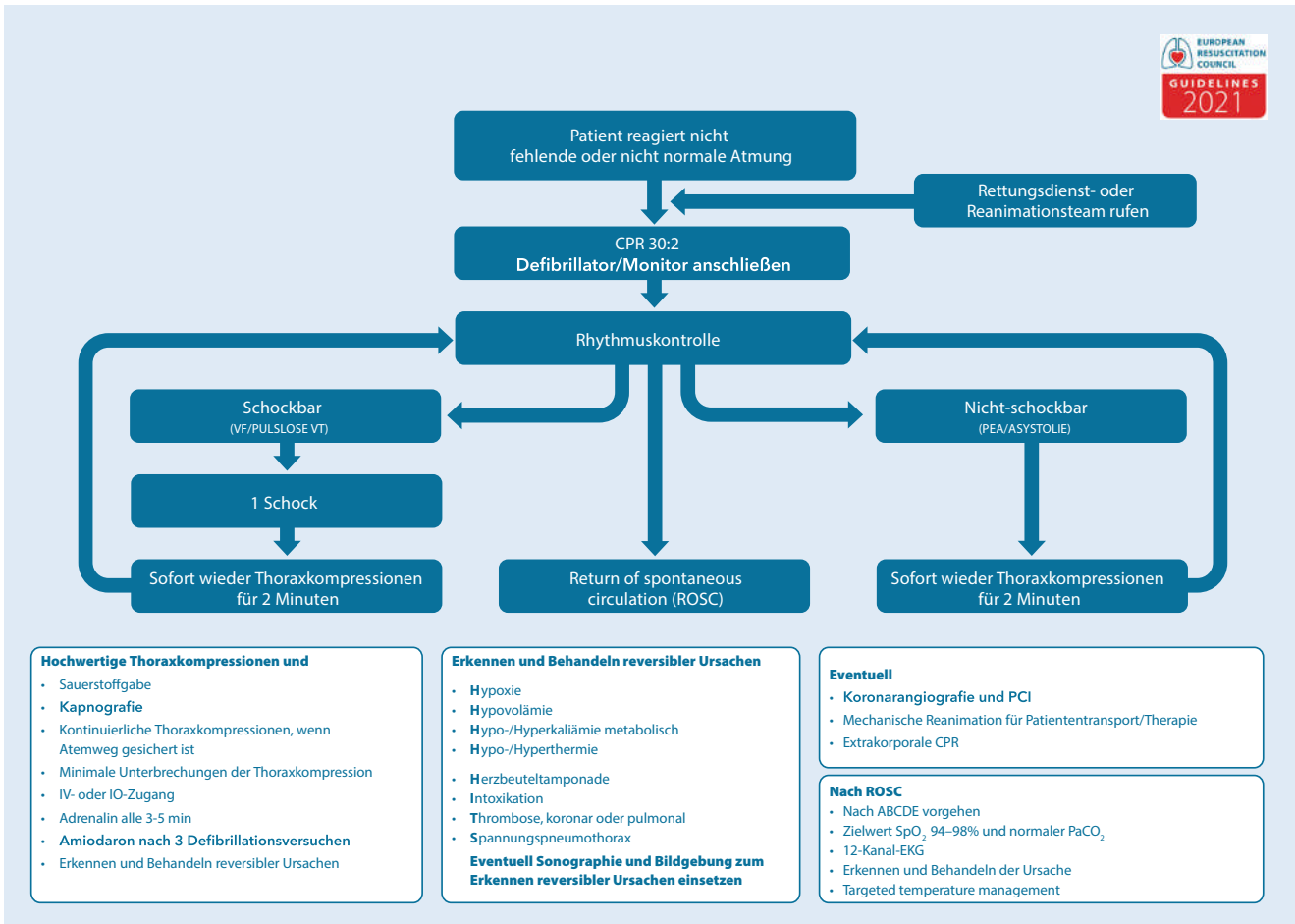


Abb. 8 ▲ Erweiterte Reanimationsmaßnahmen (ALS)

ALS-Kurs für Erwachsene abgeschlossen haben.

- Die Mitglieder des Reanimationsteams sollen die wichtigsten Fertigkeiten und Kenntnisse beherrschen, um einen Kreislaufstillstand zu behandeln, einschließlich manueller Defibrillation, erweiterten Atemwegsmanagements, Anlage eines intravenösen bzw. intraossären Zugangs sowie Identifizierung und Behandlung reversibler Ursachen.
- Das Reanimationsteam soll sich zu Beginn jeder Schicht treffen, um die Teamrollen zu besprechen und zuzuordnen.
- Kliniken sollen die Reanimationsausrüstung standardisieren.

ALS-Erwägungen für einen Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses (OHCA)

- Beginnen Sie mit ALS so früh wie möglich.
- Rettungsdienstorganisationen sollen die Umsetzung von Kriterien für das Unterlassen und Beenden einer Reanimation unter Berücksichtigung spezifischer lokaler rechtlicher, organisatorischer und kultureller Zusammenhänge in Betracht ziehen (siehe Abschn. 11 Ethik).
- Die Systeme sollen Kriterien für das Unterlassen und Beenden von CPR definieren und sicherstellen, dass die Kriterien lokal validiert werden (siehe Abschn. 11 Ethik).
- Rettungsdienstorganisationen sollen die Einsatzhäufigkeit des Personals bei Reanimationen beobachten. Eine geringe Einsatzhäufigkeit soll Anlass

sein, die Reanimationserfahrung der Teams zu erhöhen.

- Erwachsene Patienten mit nicht-traumatischem OHCA sollen nach lokalen Behandlungsprotokollen in ein Cardiac Arrest Zentrum transportiert werden (siehe Systeme, die Leben retten – Abschn. 4).

Manuelle Defibrillation Defibrillationsstrategie.

- Setzen Sie die Thoraxkompressionen fort, während ein Defibrillator geholt und die Pads angelegt werden.
- Defibrillieren Sie gegebenenfalls so früh wie möglich.
- Defibrillieren Sie mit minimaler Unterbrechung der Thoraxkompression. Minimieren Sie die Pause vor und nach dem Schock. Sie erreichen, wenn die Thoraxkompression während des Ladens des Defibrillators fortgesetzt und nach der Defibrilla-

tion sofort weitergeführt wird, eine Unterbrechung der Thoraxkompression von weniger als 5 s.

- Setzen Sie die Thoraxkompression sofort nach der Schockabgabe fort. Wenn es eine Kombination aus klinischen und physiologischen Anzeichen der Rückkehr eines Spontankreislaufs (ROSC) gibt, wie z. B. Aufwachen, gezielte Bewegung, Blutdruckkurve oder ein schneller Anstieg des endtidalen Kohlendioxids (etCO₂), können Sie erwägen, die Thoraxkompressionen zur Rhythmusanalyse und gegebenenfalls Pulskontrolle zu unterbrechen.

Sichere und effektive Defibrillation.

- Minimieren Sie die Brandgefahr, indem Sie eine Sauerstoffmaske oder -brille absetzen und mindestens 1 m von der Brust des Patienten entfernen. Beatmungsgeräte sollen konnektiert bleiben.
- Die anterolaterale Padposition ist die Position der Wahl für die initiale Padplatzierung. Stellen Sie sicher, dass das apikale (laterale) Pad richtig positioniert ist (mittlere Axillarlinie, auf Höhe der V6-Position), d. h. unterhalb der Achselhöhle.
- Bei Patienten mit einem implantierten Gerät platzieren Sie das Pad > 8 cm vom Gerät entfernt oder verwenden Sie eine alternative Padposition. Ziehen Sie auch eine andere Padposition in Betracht, wenn sich der Patient in Bauchlage (biaxillär) oder in einem refraktären defibrillierbaren Rhythmus befindet (siehe unten).
- Bei der Verwendung von mechanischen Reanimationsgeräten, kann ein Schock ohne Unterbrechung der Thoraxkompression sicher abgegeben werden.
- Bei manueller Thoraxkompression ist eine „Hands-on“-Defibrillation, selbst wenn klinische Handschuhe getragen werden, ein Risiko für den Ersthelfer.

Energieniveaus und Anzahl der Schocks.

- Verwenden Sie, wenn indiziert, Einzelschocks, gefolgt von einem 2-minütigen Kompressionszyklus.

- Die Verwendung von bis zu 3 Defibrillationen kann nur in Betracht gezogen werden, wenn bei einem beobachteten Kreislaufstillstand als Anfangsrhythmus Kammerflimmern bzw. pulslose ventrikuläre Tachykardie (VF/pVT) vorliegt und sofort ein Defibrillator verfügbar ist, z. B. während der Herzkatheterisierung oder in einem Überwachungsbereich.
- Die Energieniveaus der Defibrillation bleiben gegenüber den Leitlinien von 2015 unverändert:
 - Bei biphasischen Wellenformen („rectilinear biphasic or biphasic truncated exponential“) geben Sie den ersten Schock mit einer Energie von mindestens 150 J ab.
 - Bei gepulsten biphasischen Wellenformen geben Sie den ersten Schock mit 120–150 J ab.
- Wenn der Helfer die empfohlenen Energieeinstellungen des Defibrillators nicht kennt, verwendet er bei Erwachsenen die höchste Energieeinstellung für alle Schocks.

Wiederkehrendes oder refraktäres VF.

- Erwägen Sie, die Schockenergie nach einem unwirksamen Schock und bei Patienten mit Refibrillation zu erhöhen.
- Erwägen Sie für refraktäres VF eine alternative Padposition (z. B. anterior-posterior).
- Verwenden Sie keine duale (doppelte) sequenzielle Defibrillation für refraktäres VF außerhalb eines Forschungssettings.

Atemwege und Beatmung

- Beginnen Sie während der CPR mit dem Basismanagement der Atemwege und intensivieren Sie die Maßnahmen je nach Erfahrung schrittweise, bis eine effektive Beatmung erreicht ist.
- Sofern erweiterte Atemwegstechniken, wie z. B. eine Intubation, erforderlich sind, sollen diese nur Ersthelfer mit großer Intubationserfahrung durchführen. Der Expertenkonsens besagt, dass große Intubationserfahrung einem Erfolg > 95 % bei 2 Intubationsversuchen entspricht.

- Streben Sie an, die Thoraxkompression für eine endotracheale Intubation für weniger als 5 s zu unterbrechen.
- Verwenden Sie Video- oder direkte Laryngoskopie für die endotracheale Intubation, je nach den lokalen Behandlungsprotokollen und der Erfahrung der Ersthelfer.
- Verwenden Sie die Kapnographie, um die Position des Endotrachealtubus zu bestätigen.
- Geben Sie bei der CPR die höchstmögliche Konzentration inspiratorischen Sauerstoffs.
- Lassen Sie bei jeder Beatmung mehr als 1 s Zeit, bis sich die Brust sichtbar hebt.
- Sobald ein Endotrachealtubus oder ein supraglottischer Atemweg (SGA) eingeführt wurde, beatmen Sie die Lunge mit einer Frequenz von 10/min und setzen die Thoraxkompressionen ohne Beatmungspausen fort. Wenn bei einem SGA eine Leckage zu einer unzureichenden Beatmung führt, unterbrechen Sie die Kompressionen für die Beatmung wieder (Kompressions-Beatmungs-Verhältnis 30:2).

Medikamente und Infusionen

Gefäßzugang.

- Versuchen Sie zuerst einen intravenösen (i.v.) Zugang zu legen, um die Medikamentengabe bei Erwachsenen zu ermöglichen.
- Erwägen Sie einen intraossären (i.o.) Zugang, wenn Versuche eines i.v.-Zugangs nicht erfolgreich sind oder ein i.v.-Zugang nicht möglich erscheint.

Vasopressoren.

- Geben Sie Erwachsenen im Kreislaufstillstand mit einem **nichtdefibrillierbaren** Rhythmus so bald wie möglich 1 mg Adrenalin i.v. (i.o.).
- Geben Sie bei erwachsenen Patienten mit Kreislaufstillstand mit einem **defibrillierbaren** Rhythmus nach dem 3. Schock 1 mg Adrenalin i.v. (i.o.).
- Wiederholen Sie die Gabe von 1 mg Adrenalin i.v. (i.o.) alle 3–5 min, solange die ALS-Maßnahmen fortgeführt werden.

Antiarrhythmika.

- Geben Sie Erwachsenen mit Kreislaufstillstand, die nach 3 Defibrillationen noch in VF/pVT sind, 300 mg Amiodaron i.v. (i.o.).
- Geben Sie Erwachsenen mit Kreislaufstillstand, die nach 5 Defibrillationen noch in VF/pVT sind, weitere 150 mg Amiodaron i.v. (i.o.).
- Als Alternative könnten 100 mg Lidocain i.v. (i.o.) verwendet werden, wenn Amiodaron nicht verfügbar ist oder vor Ort die Entscheidung getroffen wurde, Lidocain statt Amiodaron zu verwenden. Auch Lidocain kann nach 5 Defibrillationsversuchen als 50-mg-Bolus wiederholt werden.

Thrombolytika.

- Erwägen Sie eine thrombolytische Therapie, wenn eine Lungenembolie als Grund des Kreislaufstillstands bewiesen ist oder vermutet wird.
- Berücksichtigen Sie, dass Sie die CPR nach der Verabreichung von Thrombolytika 60–90 min fortführen müssen.

Infusionen.

- Geben Sie i.v./i.o.-Infusionen nur, wenn der Kreislaufstillstand durch Hypovolämie verursacht ist bzw. sein kann.

Kapnographie während der erweiterten Reanimationsmaßnahmen

- Verwenden Sie die Kapnographie, um die korrekte Platzierung des Endotrachealtubus während der CPR zu bestätigen.
- Verwenden Sie die Kapnographie, um die Qualität der CPR zu überprüfen.
- Ein Anstieg des endtidalen Kohlendioxids (etCO₂) während der CPR kann auf einen ROSC hinweisen. Die Thoraxkompression soll jedoch nicht allein aufgrund dieses Symptoms unterbrochen werden.
- Obwohl hohe und ansteigende etCO₂-Werte mit erhöhten ROSC- und Überlebensraten nach CPR verbunden sind, sollen Sie nicht allein aufgrund eines niedrigen etCO₂-Werts entscheiden, einen Reanimationsversuch abzubrechen.

Einsatz der Sonographie während erweiterter Reanimationsmaßnahmen

- Nur qualifizierte Untersucher sollen während des Kreislaufstillstands „Point-of-Care-Ultraschall“ (POCUS) verwenden.
- POCUS darf keine zusätzlichen oder längeren Unterbrechungen der Thoraxkompression verursachen.
- POCUS kann nützlich sein, um behandelbare Ursachen für einen Kreislaufstillstand wie beispielsweise eine Herzbeutel tamponade oder einen Pneumothorax zu diagnostizieren.
- Eine rechtsventrikuläre Dilatation bei einem Kreislaufstillstand soll nicht isoliert zur Diagnose einer massiven Lungenembolie verwendet werden.
- Verwenden Sie POCUS nicht zur Beurteilung der Kontraktilität des Myokards als alleinigen Indikator für die Beendigung der CPR.

Mechanische Geräte zur Thoraxkompression

- Ziehen Sie mechanische Thoraxkompressionen nur in Betracht, wenn qualitativ hochwertige manuelle Thoraxkompressionen nicht praktikabel sind oder die Sicherheit des Anwenders beeinträchtigen.
- Um die Unterbrechungen der Thoraxkompression zu minimieren, soll nur im Umgang mit dem Gerät geschultes Personal mechanische Reanimationsgeräte verwenden.

Extrakorporale CPR

- Betrachten Sie die extrakorporale CPR (eCPR) unter Rahmenbedingungen, unter denen sie möglich ist, als Rescue Therapie für ausgewählte Patienten mit Kreislaufstillstand, wenn herkömmliche ALS-Maßnahmen fehlschlagen oder um spezifische Interventionen, wie z. B. Koronarangiographie und perkutane Koronarintervention (PCI), pulmonale Thrombektomie bei massiver Lungenembolie oder Wiedererwärmung nach hypothermem Kreislaufstillstand, zu erleichtern.

Periarrest-Arrhythmien

- Die Beurteilung und Behandlung aller Arrhythmien richten sich nach dem Zustand des Patienten (stabil vs. instabil) und der Art der Arrhythmie. Lebensbedrohliche Merkmale bei einem instabilen Patienten sind:
 - Schock also Hypotonie (z. B. systolischer Blutdruck < 90 mm Hg) mit Symptomen erhöhter sympathischer Aktivität und verminderter zerebraler Durchblutung.
 - Synkope als Folge einer verminderten zerebralen Durchblutung.
 - Herzinsuffizienz manifestiert als Lungenödem (Versagen des linken Ventrikels) und/oder erhöhter jugulärer venöser Druck (Versagen des rechten Ventrikels).
 - Myokardischämie kann mit Brustschmerzen (Angina pectoris) oder schmerzfrei als isolierter Befund im 12-Kanal-EKG (stille Ischämie) auftreten.

Tachykardien.

- Die elektrische Kardioversion ist die bevorzugte Therapieoption für Tachyarrhythmien bei instabilen Patienten mit potenziell lebensbedrohlichen Symptomen.
- Wache Patienten müssen vor dem Versuch einer synchronisierten Kardioversion anästhesiert bzw. sediert werden.
- Um atriale oder ventrikuläre Tachyarrhythmien zu konvertieren, muss der Schock mit der R-Zacke des Elektrokardiogramms (EKG) synchronisiert werden.
- Bei Vorhofflimmern:
 - Ein initialer synchronisierter Schock mit maximaler Defibrillatorenergie anstelle eines eskalierenden Ansatzes ist, basierend auf aktuellen Daten, eine anerkannte Strategie.
- Bei Vorhofflattern und paroxysmaler supraventrikulärer Tachykardie:
 - Verwenden Sie einen initialen Schock von 70 bis 120 J.
 - Erhöhen Sie für die folgenden Schocks schrittweise die Energie.

- Bei ventrikulärer Tachykardie mit Puls:
 - Verwenden Sie für den ersten Schock ein Energieniveau von 120 bis 150 J.
 - Erwägen Sie eine schrittweise Erhöhung, wenn durch den ersten Schock kein Sinusrhythmus erreicht wurde.
- Gelingt es mit der elektrischen Kardioversion nicht, einen Sinusrhythmus wiederherzustellen, und bleibt der Patient instabil, geben Sie 300 mg Amiodaron über 10–20 min i.v. und versuchen erneut die elektrische Kardioversion. An die „loading dose“ von Amiodaron kann sich eine Infusion von 900 mg über 24 h anschließen.
- Wenn der Patient stabil ist, keine bedrohlichen Zeichen oder Symptome vorliegen und der Patient sich nicht weiter verschlechtert, ist eine medikamentöse Behandlung möglich.
- Erwägen Sie die Gabe von Amiodaron zur akuten Herzfrequenzkontrolle bei AF-Patienten mit hämodynamischer Instabilität und stark reduzierter linksventrikulärer Ejektionsfraktion (LVEF). Bei Patienten mit LVEF < 40 % können Sie die niedrigste Betablocker-dosis verabreichen, um die Herzfrequenz auf Werte < 110/min zu senken. Geben Sie bei Bedarf zusätzlich Digoxin.

Bradykardie.

- Wenn eine Bradykardie mit bedrohlichen Symptomen einhergeht, geben Sie 500 µg (0,5 mg) Atropin i.v. (i.o.) und wiederholen Sie dies, wenn nötig, alle 3–5 min bis zu insgesamt maximal 3 mg.
- Wenn die Behandlung mit Atropin unwirksam ist, erwägen Sie Medikamente der zweiten Wahl. Zu diesen gehören Isoprenalin (5 µg/min als initiale Dosierung) und Adrenalin (2–10 µg/min).
- Theophyllin (100–200 mg langsam i.v.) kann verabreicht werden, wenn die Bradykardie durch einen inferioreren Myokardinfarkt, nach einer Herztransplantation oder durch eine

Rückenmarkverletzung verursacht wird.

- Erwägen Sie die Gabe von Glukagon, wenn Betablocker oder Kalziumkanalblocker als Ursache der Bradykardie infrage kommen.
- Geben Sie herztransplantierten Patienten kein Atropin, es kann zu einem höhergradigen AV-Block oder sogar einem Sinusknotenarrest führen. Verabreichen Sie alternativ Theophyllin bzw. Aminophyllin.
- Prüfen Sie die Option einer Schrittmachertherapie bei instabilen Patienten mit symptomatischer Bradykardie, die auf medikamentöse Therapie nicht ansprechen.
- Bei Versagen der transthorakalen Stimulationstherapie (Pacing) ist ein transvenöser Stimulationsversuch sinnvoll.
- Wird die Diagnose einer Asystolie gestellt, prüfen Sie das EKG sorgfältig auf das Vorhandensein von P-Wellen, weil diese, anders als bei echter Asystolie, wahrscheinlich auf kardiale Stimulationstherapie reagieren wird.
- Wenn Atropin wirkungslos und eine transkutane Schrittmachertherapie nicht unverzüglich verfügbar ist, kann eine Faustschlagstimulation versucht werden, solange auf das Equipment für die Schrittmachertherapie gewartet wird.

Unkontrollierte Organspende¹ nach Kreislaufstillstand

- Wenn kein ROSC zu erreichen ist, erwägen Sie eine unkontrollierte Organspende nach Kreislaufstillstand, wenn in ihrem Umfeld ein etabliertes Programm existiert und es den örtlichen Regeln und Gesetzen entspricht.

¹ Die Rechtslage zur Organspende nach persistierendem Kreislaufstillstand („Donation after Circulatory Death“, DCD) ist in den deutschsprachigen Ländern unterschiedlich: während in Deutschland für die Organspende grundsätzlich die Feststellung des Hirntodes erforderlich ist, ist in Österreich, der Schweiz und Luxemburg die Organspende bei erfolgloser Reanimation grundsätzlich möglich. Im Moment wird sie allerdings aus organisatorisch/logistischen Gründen nur an wenigen Orten durchgeführt.

Nachbesprechung

- Führen Sie auf Basis der Tatsachen ein leistungsorientiertes Debriefing von Rettungskräften durch, um die CPR-Qualität und das Patientenoutcome zu verbessern.

Besondere Umstände

Diese Leitlinien für den Kreislaufstillstand unter besonderen Umständen hat der ERC basierend auf dem International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations 2020 erstellt. Dieser Abschnitt enthält Leitlinien zu den Modifikationen der lebensrettenden Basismaßnahmen und erweiterten lebensrettenden Maßnahmen zur Prävention und Behandlung des Kreislaufstillstands unter besonderen Umständen; insbesondere spezielle Ursachen (Hypoxie, Trauma, Anaphylaxie, Sepsis, Hypo-/Hyperkaliämie und andere Elektrolytstörungen, Hypothermie, Lawinentod, Hyperthermie und maligne Hyperthermie, Lungenembolie, Koronarthrombose, Herzbeuteltamponade, Spannungspneumothorax, Giftstoffe), spezielles Umfeld (Operationssaal, Herzchirurgie, Herzkatheterlabor, Dialyseeinheit, Zahnkliniken, Transport, z. B. Flugzeuge oder Kreuzfahrtschiffe, Sport, Ertrinken, Großschadensereignisse) und besondere Patientengruppen (Asthma und COPD, neurologische Erkrankungen, krankhafte Adipositas, Schwangerschaft).

Es gibt keine wesentlichen Änderungen in den Leitlinien 2021 für besondere Umstände bei Erwachsenen. Es wird mehr Wert auf die Priorisierung der Erkennung und Behandlung reversibler Ursachen bei Kreislaufstillstand durch besondere Umstände gelegt. Die Leitlinien spiegeln die zunehmende Evidenz für extrakorporale CPR (eCPR) als Managementstrategie für ausgewählte Patienten mit Kreislaufstillstand in einem Umfeld wider, in dem sie umgesetzt werden kann. Diese ERC-Leitlinie folgt europäischen und internationalen Leitlinien für Behandlungsempfehlungen (Elektrolytstörungen, Sepsis, Koronarthrombose, unbeabsichtigte Unterkühlung und Lawinenrettung). Der Abschnitt über Traumata wurde unter Einbeziehung



Abb. 9 ▲ Infografik Kreislaufstillstand unter besonderen Umständen

zusätzlicher Maßnahmen zur Blutungskontrolle überarbeitet. Der Abschnitt über toxische Substanzen enthält eine umfangreiche Ergänzung, die auf das Management spezifischer toxischer Substanzen fokussiert. Die Prognose einer erfolgreichen Wiedererwärmung bei hypothermen Patienten folgt differenzierteren Scoringssystemen (HOPE-Score, ICE-Score). Bei der Lawinrettung wird der Beatmung Vorrang eingeräumt, da Hypoxie die wahrscheinlichste Ursache des Kreislaufstillstands ist. Aufgrund der zunehmenden Anzahl von Patienten, die einen Kreislaufstill-

stand in speziellen Umgebungen erleiden, wurden Empfehlungen für den Kreislaufstillstand im Herzkatheterlabor und in der Dialyseeinheit hinzugefügt.

Die wichtigsten Botschaften aus diesem Abschnitt sind in **Abb. 9** dargestellt.

Besondere Ursachen

Hypoxie.

- Folgen Sie dem Standard-ALS-Algorithmus, wenn Sie Patienten mit asphyktischem Kreislaufstillstand wiederbeleben.
- Höchste Priorität hat die Behandlung der Ursachen der Asphyxie

bzw. Hypoxämie, da dies eine potenziell reversible Ursache für den Kreislaufstillstand ist.

- Eine effektive Beatmung mit der höchstmöglichen inspiratorischen Sauerstoffkonzentration ist bei Patienten mit asphyktischem Kreislaufstillstand dringend indiziert.

Hypovolämie.

Traumatisch bedingter Kreislaufstillstand (TCA)

- Die Reanimation des TCA soll sich auf die sofortige, gleichzeitige Behandlung reversibler Ursachen konzentrieren.
- Die Reaktion auf TCA ist zeitkritisch und der Erfolg hängt von einer gut etablierten Überlebenskette ab, also einer gezielten präklinischen Versorgung und einer Weiterversorgung in Traumazentren.
- Die TCA (hypovolämischer Schock, obstruktiver Schock, neurogener Schock) unterscheidet sich vom Kreislaufstillstand aus medizinischer Ursache. Dies spiegelt der Behandlungsalgorithmus wider.
- Nutzen Sie die Sonographie, um die zugrunde liegende Ursache für den Kreislaufstillstand zu identifizieren und Wiederbelebungsmaßnahmen gezielt einzusetzen.
- Die gleichzeitige Behandlung reversibler Ursachen hat Vorrang vor Thoraxkompressionen. Die Thoraxkompression darf die Behandlung reversibler Ursachen bei TCA nicht verzögern.
- Therapieren Sie Blutungen mit äußerem Druck, hämostatischer Gaze, Tourniquets und einer Beckenschlinge.
- „Don't pump an empty heart“ – Volumentherapie!
- Die Reanimationsthorakotomie (RT) spielt bei der TCA und der traumatischen Periarrest-Situation eine Rolle.

Anaphylaxie

- Erkennen Sie eine Anaphylaxie anhand der Probleme des Atemwegs (Schwellung), der Atmung (Keuchen oder anhaltender Husten) oder des Kreislaufs (Hypotonie) mit oder ohne

- Haut- und Schleimhautveränderungen. Dies kann bei einem Patienten mit einer Allergie im Zusammenhang mit dem bekannten Auslöser oder als Verdacht auf Anaphylaxie bei einem Patienten ohne Allergie in der Vorgeschichte auftreten.
- Rufen Sie frühzeitig um Hilfe.
 - Entfernen oder stoppen Sie den Auslöser, sofern möglich.
 - Geben Sie Adrenalin 0,5 mg (entsprechend 0,5 ml einer 1mg/ml-Ampulle Adrenalin) in den anterolateralen Oberschenkel intramuskulär (i.m.), sobald der Verdacht einer Anaphylaxie besteht. Wiederholen Sie die Adrenalin-i.m.-Gabe, wenn sich der Zustand des Patienten nach etwa 5 min nicht verbessert hat.
 - Stellen Sie sicher, dass der Patient liegt. Lassen Sie den Patienten nicht plötzlich aufstehen oder sich hinsetzen.
 - Verwenden Sie das ABCDE-Konzept und behandeln Sie Probleme frühzeitig (Sauerstoff, Infusion, Monitoring).
 - Geben Sie frühzeitig einen kristalloiden Flüssigkeitsbolus i.v. und überwachen Sie die Reaktion. Möglicherweise sind große Flüssigkeitsmengen erforderlich.
 - Erwägen Sie einen Adrenalin-i.v.-Bolus (20–50 µg) oder eine Adrenalin-i.v.-Infusion bei therapierefraktärer Anaphylaxie oder in speziellen Behandlungseinrichtungen, in denen die Möglichkeit dazu besteht.
 - Erwägen Sie alternative Vasopressoren wie Vasopressin, Noradrenalin, Metaminol, Phenylephrin bei der therapierefraktären Anaphylaxie.
 - Erwägen Sie Glukagon i.v. bei Patienten, die Betablocker einnehmen.
 - Beginnen Sie mit Thoraxkompression und ALS, sobald ein Kreislaufstillstand zu vermuten ist, und folgen Sie den Standardleitlinien.
 - Erwägen Sie den Einsatz eines „extracorporeal life support system“ (ECLS) oder einer „extracorporeal cardiopulmonary resuscitation“ (eCPR) bei Patienten mit Periarrest oder Kreislaufstillstand als Notfalltherapie, wenn dies in Ihrem Umfeld möglich ist.

- Folgen Sie den bestehenden Leitlinien für die Untersuchung und Nachsorge von Patienten mit vermuteter oder gesicherter Anaphylaxie.

Sepsis

Prävention des Kreislaufstillstands bei Sepsis

- Befolgen Sie das „Surviving Sepsis Guidelines Hour-1-Bundle“ zur initialen Reanimation bei Patienten mit Sepsis und septischem Schock. Speziell:
 - Messen Sie den Laktatspiegel.
 - Entnehmen Sie Blutkulturen vor der Verabreichung von Antibiotika.
 - Verabreichen Sie Breitbandantibiotika.
 - Beginnen Sie mit der schnellen Infusion von 30 ml/kgKG Kristalloid bei Hypotonie oder bei einem Laktatspiegel ≥ 4 mmol/l.
 - Applizieren Sie Vasopressoren, wenn der Patient während oder nach der Flüssigkeitsgabe hypoton ist, um einen mittleren arteriellen Druck (MAP) von ≥ 65 mm Hg aufrechtzuerhalten.

Behandlung des Kreislaufstillstands aufgrund von Sepsis

- Folgen Sie den Standard-ALS-Leitlinien, einschließlich der Gabe der maximal möglichen inspiratorischen Sauerstoffkonzentration.
- Intubieren Sie endotracheal, wenn Sie dies sicher beherrschen.
- Nehmen Sie im Zuge einer Venenpunktion eine venöse Blutgas-, Laktat- und Elektrolytkontrolle ab.
- Infundieren Sie einen initialen i.v.-Bolus von 500 ml Kristalloid. Erwägen Sie die Gabe weiterer Boli.
- Diagnostizieren und kontrollieren Sie, wenn möglich, die Sepsisursache und geben Sie frühzeitig Antibiotika.

Hypo-/Hyperkaliämie und andere Elektrolytstörungen.

- Denken Sie an eine Hyperkaliämie oder Hypokaliämie bei allen Patienten mit Arrhythmie oder Kreislaufstillstand.
- Überprüfen Sie das Serumkalium mithilfe von Point-of-Care-Tests, falls verfügbar.

- Das EKG ist möglicherweise am raschesten für die Diagnose verfügbar.

Behandlung von Hyperkaliämie

- „Protect the heart!“
- Verschieben Sie Kalium nach intrazellulär.
- Entfernen Sie Kalium aus dem Körper.
 - Erwägen Sie die Einleitung einer Dialyse während der CPR bei therapierefraktärem hyperkaliämischem Kreislaufstillstand.
 - Erwägen Sie eCPR.
- Überwachen Sie den Kalium- und Glukosespiegel im Serum.
- Verhindern Sie das Wiederauftreten einer Hyperkaliämie.

Patient ohne Kreislaufstillstand

- Verwenden Sie das ABCDE-Konzept und korrigieren Sie alle Anomalien, sorgen Sie für einen i.v.-Zugang.
- Überprüfen Sie den Serumkaliumspiegel. Verwenden Sie, falls verfügbar, ein Blutgasanalysegerät (BGA-Gerät) und senden Sie eine Probe an das Labor.
- Schreiben Sie ein EKG und suchen Sie nach Zeichen der Hyperkaliämie.
- Kardiales Monitoring ist indiziert, wenn das Serumkalium $\geq 6,5$ mmol/l ist oder wenn sich der Patient akut unwohl fühlt.

Folgen Sie dem Hyperkaliämiealgorithmus, der sich an der Schwere der Hyperkaliämie und den EKG-Veränderungen orientiert.

Mäßige Hyperkaliämie (Serumkalium 6,0–6,4 mmol/l)

- Verschieben Sie Kalium in die Zellen: Geben Sie 10 IE kurz wirkendes Insulin und 25 g Glukose (250 ml Glukose 10 %) i.v. über 15–30 min (Wirkungseintritt nach 15–30 min; maximale Wirkung nach 30–60 min; Wirkdauer 4–6 h; Blutzuckermessung). Bei Patienten mit einem Blutglukosespiegel < 7 mmol/l vor der Behandlung fahren Sie 5 h lang mit 50 ml/h 10 %iger Glukose fort.
- Entfernen Sie Kalium aus dem Körper: Erwägen Sie die orale Gabe eines Kaliumsenkers, z. B. Natrium-Zirkonium-Zyklosilikat (SZC), oder

eines Kationenaustauscherharzes, wie Patiomer oder Kalziumresonium®, je nach lokaler Praxis.

Schwere Hyperkaliämie (Serumkalium $\geq 6,5$ mmol/l) ohne EKG-Veränderungen

- Suchen Sie frühzeitig Hilfe von Experten.
- Verschieben Sie Kalium in die Zellen: Infundieren Sie Insulin/Glukose (wie oben).
- Verschieben Sie Kalium in die Zellen: Vernebeln Sie Salbutamol 10–20 mg (Wirkungseintritt 15–30 min; Wirkdauer 4–6 h).
- Entfernen Sie Kalium aus dem Körper: Geben Sie SZC (Wirkungseintritt nach 60 min) oder Patiomer (Wirkungseintritt nach 4–7 h) und erwägen Sie eine Dialyse.

Schwere Hyperkaliämie (Serumkalium $\geq 6,5$ mmol/l) mit pathologischen EKG-Veränderungen

- Suchen Sie frühzeitig Expertenhilfe.
- „Protect the heart“: Geben Sie 10 ml Kalziumchlorid 10 % i.v. über 2–5 min (Wirkeintritt 1–3 min, erneut EKG ableiten, eine weitere Dosis, wenn die pathologischen EKG-Veränderungen weiter bestehen).
- Verschieben Sie Kalium in die Zellen: Infundieren Sie Insulin/Glukose (wie oben).
- Verschieben Sie Kalium in die Zellen: Vernebeln Sie Salbutamol 10–20 mg (wie oben).
- Entfernen Sie Kalium aus dem Körper: Geben Sie SZC oder Patiomer (siehe oben) und denken Sie an eine Dialyse, von vornherein oder wenn die Behandlung nicht anspricht.

Patient mit Kreislaufstillstand

- Sichern Sie, wenn möglich, die Diagnose Hyperkaliämie mit einer Blutgasanalyse.
- „Protect the heart“: Geben Sie 10 ml Kalziumchlorid 10 % i.v. als schnelle Bolusinjektion. Denken Sie daran, die Dosis zu wiederholen, wenn der Kreislaufstillstand refraktär ist oder länger andauert.
- Verschieben Sie Kalium in die Zellen: Geben Sie 10 IE lösliches Insulin und 25 g Glukose als schnelle i.v.-Injektion.

Überwachen Sie den Blutzucker. Infundieren Sie 10 %ige Glukose unter Blutzuckerkontrolle, um eine Hypoglykämie zu vermeiden.

- Verschieben Sie Kalium in die Zellen: Geben Sie 50 mmol Natriumbikarbonat (50 ml 8,4 %ige Lösung) als schnelle i.v.-Injektion.
- Entfernen Sie Kalium aus dem Körper: Denken Sie an eine Dialyse bei refraktärem hyperkaliämischem Kreislaufstillstand.
- Erwägen Sie die Verwendung eines Thoraxkompressionsgeräts, wenn eine längere CPR erforderlich ist.
- Erwägen Sie ECLS oder eCPR bei Patienten in einer Periarrest-Situation oder im Kreislaufstillstand als Notfalltherapie, wenn dies in Ihrem Umfeld möglich ist.

Behandlung der Hypokaliämie

- Bringen Sie den Kaliumspiegel wieder in Ordnung (Applikationsweg und -geschwindigkeit richten sich nach der klinischen Dringlichkeit).
- Prüfen Sie, ob es potenziell exazerbierende Faktoren gibt, z. B. Digoxintoxizität, Hypomagnesiämie.
- Überwachen Sie das Serumkalium. Der Ersatzbedarf richtet sich nach dem Kaliumspiegel.
- Verhindern Sie ein erneutes Auftreten, indem Sie die Ursache herausfinden und beseitigen.

Hypothermie.

Unbeabsichtigte Unterkühlung

- Stellen Sie die Kerntemperatur mit einem für niedrige Temperaturen geeigneten Thermometer fest: tympanische Messung bei Spontanatmung, ösophageale bei Patienten mit einem Trachealtubus oder einem Larynx-tubus mit Absaugkanal.
- Überprüfen Sie bis zu einer Minute lang die Vitalfunktionen.
- Präklinisch sind Isolationsdecke, Triage, schneller Transport in ein Krankenhaus und Wiedererwärmung die Schlüsselinterventionen.
- Hypotherme Patienten mit Risikofaktoren für einen bevorstehenden Kreislaufstillstand, d. h. Kerntemperatur $< 30^\circ\text{C}$, ventrikuläre Arrhythmie, systolischer Blutdruck

< 90 mm Hg, und Patienten im Kreislaufstillstand sollen idealerweise zur Wiedererwärmung direkt in ein Zentrum mit der Möglichkeit einer extrakorporalen Zirkulation (ECLS) gebracht werden.

- Patienten mit hypothermem Kreislaufstillstand sollen während des Transports kontinuierlich reanimiert werden.
- Thoraxkompressionen und Beatmung sollen sich nicht von der bei normothermen Patienten unterscheiden.
- Wenn das Kammerflimmern (VF) nach 3 Schocks persistiert, warten Sie mit weiteren Defibrillationsversuchen, bis die Kerntemperatur $> 30^\circ\text{C}$ beträgt.
- Warten Sie auch mit Adrenalingabe, wenn die Kerntemperatur $< 30^\circ\text{C}$ ist.
- Bei einer Kerntemperatur $> 30^\circ\text{C}$ verlängern Sie das Therapieintervall für Adrenalin auf 6–10 min.
- Wenn ein längerer Transport ansteht oder das Gelände schwierig ist, wird die Verwendung eines mechanischen CPR-Geräts empfohlen.
- Bei hypothermen Patienten im Kreislaufstillstand $< 28^\circ\text{C}$ kann die CPR verzögert begonnen werden, wenn sie vor Ort zu gefährlich oder nicht durchführbar ist. Es kann intermittierend reanimiert werden, wenn eine kontinuierliche CPR nicht möglich ist.
- Die Prognose für eine erfolgreiche Wiedererwärmung im Krankenhaus soll auf dem HOPE- oder ICE-Score basieren. Die traditionelle Prognoseerstellung im Krankenhaus auf Basis des Serumkaliums ist nicht zuverlässig.
- Bei hypothermem Kreislaufstillstand soll eine Wiedererwärmung mit ECLS durchgeführt werden, vorzugsweise mit extrakorporaler Membranoxygenierung (ECMO) über einen kardiopulmonalen Bypass (CPB).
- Wenn ein ECLS-Zentrum nicht innerhalb von Stunden (z. B. 6 h) erreicht werden kann, soll die Wiedererwärmung ohne ECLS in einem peripheren Krankenhaus eingeleitet werden.

Lawinenrettung

- Beginnen Sie bei Kreislaufstillstand mit 5 Beatmungen, da Hypoxie die wahrscheinlichste Ursache ist.
- Arbeiten Sie nach Standard-ALS, wenn die Verschüttungszeit < 60 min ist.
- Nutzen Sie bei Lawinenopfern mit einer Verschüttungszeit > 60 min ohne Zeichen für eine Atemwegsverlegung oder zusätzliche Verletzungen, die nicht mit dem Leben vereinbar sind, alle Reanimationsmaßnahmen, einschließlich ECLS-Wiedererwärmung.
- Betrachten Sie eine CPR bei einem Kreislaufstillstand mit einer Verschüttungszeit von > 60 min und zusätzlichen Hinweisen auf einen verlegten Atemweg als sinnvoll.
- Die Prognose nach einer erfolgreichen Wiedererwärmung im Krankenhaus soll auf dem HOPE-Score basieren. Die traditionelle Triage mit Serumkalium und Kerntemperatur (Grenzwerte 7 mmol/l bzw. 30 °C) ist nicht zuverlässig.

Hyperthermie und maligne Hyperthermie.

Hyperthermie

- Die Messung der Kerntemperatur soll verfügbar sein, um die Behandlung zu steuern.
- **Hitzesyndrom:** Patienten in eine kühle Umgebung bringen, passiv abkühlen lassen und orale isotone oder hypertone Flüssigkeiten geben.
- **Hitzeerschöpfung:** Patienten in eine kühle Umgebung bringen, flach lagern, isotone oder hypertone Flüssigkeit i.v. verabreichen, zusätzlich Elektrolytersatztherapie mit isotonen Flüssigkeiten in Betracht ziehen. Der Ersatz mit 1–2 l Kristalloiden mit 500 ml/h ist häufig ausreichend.
- Einfache externe Kühlmaßnahmen sind normalerweise nicht erforderlich, das wären Wärmeleitung, Wärmeströmung und Verdunstung (siehe Abschn. 10 Erste Hilfe).
- **Hitzschlag:** „Cool and run“ wird empfohlen:
 - Bringen Sie den Patienten in eine kühle Umgebung.
 - Legen Sie ihn flach hin.

- Kühlen Sie sofort aktiv durch komplette Körperimmersion (vom Hals abwärts) in Wasser (1–26 °C) bis zu einer Kerntemperatur < 39 °C.
- Wenn kein Eintauchen in Wasser möglich ist, beginnen Sie sofort mit der aktiven oder passiven Technik, die die schnellste Abkühlgeschwindigkeit verspricht.
- Verabreichen Sie isotone oder hypertone i.v.-Infusionen (mit Serumnatrium ≤ 130 mmol/l bis zu 3×100 ml NaCl 3 %).
- Erwägen Sie einen zusätzlichen Elektrolytersatz durch isotope Flüssigkeiten. Es können erhebliche Flüssigkeitsmengen erforderlich sein.
- Bei einem Hitzschlag unter Belastung ist eine Abkühlgeschwindigkeit von mehr als $0,10$ °C/min sicher und wünschenswert.
- Befolgen Sie das ABCDE-Konzept bei jedem Patienten mit sich verschlechternden Vitalfunktionen.

Maligne Hyperthermie

- Stoppen Sie sofort das auslösende Agens.
- Geben Sie Sauerstoff.
- Streben Sie durch Hyperventilation eine Normokapnie an.
- Erwägen Sie die Korrektur einer schweren Azidose mit Natriumbikarbonat (1–2 mmol/kgKG).
- Behandeln Sie eine Hyperkaliämie (Kalzium, Glukose/Insulin, Hyperventilation) (siehe Hyperkaliämiealgorithmus).
- Geben Sie Dantrolen (zu Beginn 2,5 mg/kgKG und je nach Bedarf weitere 10 mg/kgKG).
- Beginnen Sie mit aktiver Kühlung.
- Bei Kreislaufstillstand folgen Sie dem ALS-Algorithmus und kühlen Sie weiter.
- Nach Rückkehr des Spontankreislaufs (ROSC) überwachen Sie den Patienten 48–72 h lang engmaschig, da bei 25 % der Patienten ein Rückfall auftritt.
- Wenden Sie sich für Rat und Weiterbehandlung an ein Expertenzentrum für maligne Hyperthermie.

Thrombose.

Lungenembolie

Prävention des Kreislaufstillstands

- Befolgen Sie das ABCDE-Konzept:
 - A. Airway
 - Behandeln Sie lebensbedrohliche Hypoxie mit hohem Sauerstoff-Flow.
 - B. Breathing
 - Denken Sie an eine Lungenembolie (LE) bei allen Patienten mit plötzlichem Auftreten einer zunehmenden Dyspnoe bei Fehlen einer bekannten Lungenerkrankung. Schließen Sie immer einen Pneumothorax und eine Anaphylaxie aus.
 - C. Circulation
 - Leiten Sie ein 12-Kanal-EKG ab. Schließen Sie ein akutes Koronarsyndrom aus und suchen Sie nach Zeichen rechtsventrikulärer Belastung.
 - Identifizieren Sie bestehende hämodynamische Instabilität und eine Hochrisiko-LE.
 - Führen Sie vor Ort eine Echokardiographie durch.
 - Beginnen Sie bereits während der Diagnostik eine Antikoagulationstherapie (Heparin 80 IE/kgKG i.v.), es sei denn, es gibt Anzeichen für eine Blutung oder absolute Kontraindikationen.
 - Sichern Sie die Diagnose mit einer computertomographischen Pulmonalisangiographie (CTPA).
 - Gründen Sie ein multidisziplinäres Team, das Entscheidungen über das Management von Hochrisiko-LE trifft (abhängig von den lokalen Ressourcen).
 - Führen Sie bei sich schnell verschlechternden Patienten notfallmäßig eine Thrombolyse durch.
 - Erwägen Sie eine chirurgische Embolektomie oder eine katetergesteuerte Behandlung als Alternative zur Notfallthrombolyse bei sich schnell verschlechternden Patienten.
 - D. Disability
 - E. Exposure

- Fordern Sie Informationen zur Vorgeschichte, prädisponierenden Faktoren und Medikamenten an, die die Diagnose einer Lungenembolie unterstützen können:
 - Frühere Lungenembolie oder tiefe Venenthrombose (TVT).
 - Operation oder Immobilisierung innerhalb der letzten vier Wochen.
 - Aktives Krebsleiden.
 - Klinische Anzeichen einer TVT.
 - Orale Kontrazeptiva oder Hormonersatztherapie.
 - Langstreckenflüge.

Management des Kreislaufstillstands

- Der Kreislaufstillstand ist üblicherweise eine pulslose elektrische Aktivität (PEA).
- Niedrige etCO_2 -Werte ($< 1,7 \text{ kPa} / 13 \text{ mm Hg}$) unter sehr guten Thoraxkompressionen können die Diagnose einer Lungenembolie stützen, obgleich dies ein unspezifisches Zeichen ist.
- Erwägen Sie eine Notfallechokardiographie durch einen erfahrenen Untersucher als zusätzliches diagnostisches Verfahren.
- Applizieren Sie Thrombolytika, wenn eine LE als Ursache des Kreislaufstillstands zu vermuten ist.
- Wenn Thrombolytika gegeben wurden, sollen Sie mindestens 60–90 min reanimieren, bevor Sie den Reanimationsversuch beenden.
- Nutzen Sie bei Kreislaufstillstand Thrombolytika, die chirurgische Embolektomie oder die perkutane Thrombektomie, wenn eine LE als Ursache des Kreislaufstillstands bekannt ist.
- Erwägen Sie in einem Umfeld, in dem diese möglich ist, eCPR als Rescue Therapie für ausgewählte Patienten mit Kreislaufstillstand, wenn die konventionelle CPR versagt.

Koronarthrombose

- Vorsorge und Vorbereitung:
- Fördern Sie kardiovaskuläre Prävention, um das Risiko akuter Ereignisse zu verringern.

- Unterstützen Sie die Gesundheits-erziehung, um Verzögerungen bis zum ersten medizinischen Kontakt zu verringern.
- Fördern Sie lebensrettende Basismaßnahmen durch Laien, um die Chance einer CPR durch Notfallzeugen zu erhöhen.
- Stellen Sie angemessene Ressourcen für ein besseres Management sicher.
- Verbessern Sie Qualitätsmanagementsysteme und Indikatoren für eine bessere Qualitätsüberwachung.

Erkennen Sie Symptome, die auf eine Koronarthrombose hindeuten, und aktivieren Sie das STEMI-Netzwerk („ST-elevation myocardial infarction“):

- Brustschmerz vor dem Kreislaufstillstand.
- Bekannte koronare Herzkrankheit.
- Initialer Rhythmus: VF, pulslose ventrikuläre Tachykardie (pVT).
- ST-Hebung im 12-Kanal-EKG nach Reanimation.

Reanimieren Sie und behandeln Sie mögliche Ursachen. Legen Sie zudem eine Repermutationsstrategie fest:

- Patienten mit dauerhaftem ROSC
 - STEMI-Patienten:
 - a. Primäre perkutane Koronarintervention (PCI) ≤ 120 min nach Diagnose: Aktivieren Sie das Katheterlabor und transportieren Sie den Patienten unmittelbar zur PCI.
 - b. Primäre PCI in ≤ 120 min nicht möglich: Führen Sie eine prähospital Thrombolyse durch und bringen Sie den Patienten in ein PCI-Zentrum.
 - Nicht-STEMI-Patienten: Individualisieren Sie Ihre Entscheidungen unter Berücksichtigung des Patientenstatus, des OHCA-Umfelds und der EKG-Befunde.
 - a. Prüfen Sie schnell die Alternativediagnosen, falsifizieren Sie nichtkoronare Ursachen und kontrollieren Sie den Patientenstatus.
 - b. Sorgen Sie für eine dringliche Koronarangiographie (≤ 120 min), wenn der Verdacht auf eine anhaltende Myokardischämie besteht oder der Patient hämodynamisch bzw. elektrisch instabil ist.

c. Erwägen Sie eine verzögerte Koronarangiographie, wenn kein Verdacht auf anhaltende Ischämie besteht und der Patient stabil ist.

- Patienten ohne dauerhaften ROSC: Bewerten Sie Umfeld, Patientenstatus und verfügbare Ressourcen.
 - Aussichtslos: CPR stoppen.
 - Nichtaussichtslos: Prüfen Sie die Möglichkeit eines Transports des Patienten in ein perkutanes Koronarinterventionszentrum (PCI) unter laufender CPR.
 - a. Erwägen Sie mechanische Thoraxkompression und eCPR.
 - b. Ziehen Sie die Koronarangiographie in Betracht.

Herzbeutelamponade.

- Dekomprimieren Sie das Perikard sofort.
- Die Point-of-Care-Echokardiographie sichert die Diagnose.
- Führen Sie eine Notfallthorakotomie oder eine ultraschallgeführte Perikardiozentese durch.

Spannungspneumothorax.

- Die Diagnose eines Spannungspneumothorax bei einem Patienten mit Kreislaufstillstand oder hämodynamischer Instabilität muss auf einer klinischen Untersuchung oder einem Point-of-Care-Ultraschall (POCUS) gründen.
- Dekomprimieren Sie den Pneumothorax sofort durch eine Thorakostomie, wenn bei Kreislaufstillstand oder schwerer Hypotonie ein Spannungspneumothorax vermutet wird.
- Die Nadeldekompression dient als sofortige Behandlung, sie soll mit speziellen Nadeln (länger, nicht knickend) durchgeführt werden.
- Jeder Versuch einer Nadeldekompression unter CPR soll von einer offenen Thorakostomie oder der Anlage einer Thoraxdrainage gefolgt sein, sofern die Expertise verfügbar ist.
- Die Pneumothoraxdekompression behandelt den Spannungspneumothorax wirksam und hat deshalb Vorrang vor anderen Maßnahmen.

Giftstoffe. Prävention

- Eine Vergiftung führt selten zu einem Kreislaufstillstand.
- Behandeln Sie hypertensive Notfälle mit Benzodiazepinen, Vasodilatoren und reinen Alphaantagonisten.
- Eine arzneimittelinduzierte Hypotonie spricht normalerweise auf i.v.-Flüssigkeitsgabe an.
- Nutzen Sie, sofern verfügbar, zusätzlich zu den ALS-Maßnahmen zur Therapie von Arrhythmien spezielle Maßnahmen.
- Planen Sie frühzeitig ein erweitertes Atemwegsmanagement.
- Applizieren Sie, soweit verfügbar, so bald wie möglich Antidota.

Behandlung des Kreislaufstillstand

- Legen Sie die Schwelle für Ihre persönliche Sicherheit niedrig (Eigenschutz!).
- Überlegen Sie, welche spezifischen Behandlungsoptionen wie Antidot, Dekontamination und verbesserte Elimination möglich sind.
- Verwenden Sie keine Mund-zu-Mund-Beatmung bei Intoxikation mit Zyanid, Schwefelwasserstoff, Ätzmitteln und Organophosphaten.
- Schließen Sie alle reversiblen Ursachen für einen Kreislaufstillstand aus, auch Elektrolytstörungen, die allerdings indirekt durch Toxine verursacht sein können.
- Messen Sie die Temperatur des Patienten, da bei Intoxikationen eine Hypo- oder Hyperthermie auftreten kann.
- Seien Sie bereit, über einen längeren Zeitraum zu reanimieren. Die Toxinkonzentration kann sinken, da das Toxin während lang dauernder Reanimationsmaßnahmen metabolisiert oder ausgeschieden wird.
- Nehmen Sie zur Behandlung des intoxikierten Patienten Kontakt mit regionalen oder nationalen Giftzentren auf.
- Erwägen Sie in einem Umfeld, in dem sie möglich ist, die eCPR als Rescue Therapie für ausgewählte Patienten

mit Kreislaufstillstand, wenn die konventionelle CPR versagt.

Spezielles Umfeld

Gesundheitseinrichtungen.

Kreislaufstillstand im Operationsaal (OP)

- Erkennen Sie den Kreislaufstillstand durch kontinuierliche Überwachung.
- Informieren Sie den Chirurgen und das OP-Team. Rufen Sie Hilfe und lassen Sie einen Defibrillator besorgen.
- Beginnen Sie effektive Thoraxkompressionen und suffiziente Beatmung.
- Folgen Sie dem ALS-Algorithmus mit besonderem Fokus auf reversible Ursachen, insbesondere Hypovolämie (Anaphylaxie, Blutung), Hypoxie, Spannungspneumothorax, Thrombose (Lungenembolie).
- Nutzen Sie die Sonographie, um die Wiederbelebung zu steuern.
- Passen Sie die Höhe des OP-Tisches an, um eine effektive CPR zu ermöglichen.
- Überprüfen Sie die Atemwege und überprüfen Sie die etCO₂-Kurve.
- Applizieren Sie Sauerstoff mit einer inspiratorischen Sauerstofffraktion (F_IO₂) von 1,0.
- Überlegen Sie offene Herzkompression als wirksame Alternative zur geschlossenen Thoraxkompression.
- Ziehen Sie die eCPR als Rescue Therapie für ausgewählte Patienten mit Kreislaufstillstand in Betracht, wenn die konventionelle CPR versagt.

Herzchirurgie

Vorsorge und Vorbereitung

- Stellen Sie eine adäquate Ausbildung des Personals in Reanimationstechnik und erweiterten Maßnahmen sicher.
- Gewährleisten Sie, dass auf der Intensivstation die Ausrüstung für eine Notfallsternotomie verfügbar ist.
- Verwenden Sie Sicherheitschecklisten.

Erkennen Sie einen Kreislaufstillstand und aktivieren Sie den entsprechenden Algorithmus

- Erkennen und therapieren Sie Zustandsverschlechterungen des postoperativen Herzpatienten.

- Erwägen Sie eine Echokardiographie.
- Bestätigen Sie den Kreislaufstillstand aufgrund der klinischen Zeichen und der pulslosen Blutdruckkurven.
- Rufen Sie Hilfe und aktivieren Sie das Kreislaufstillstandsprotokoll.

Reanimieren Sie und behandeln Sie mögliche Ursachen

- Reanimieren Sie nach einem **modifizierten ALS-Algorithmus**:
 - VF/pVT: Defibrillieren Sie mit bis zu 3 aufeinanderfolgenden Schocks (< 1 min).
 - Asystolie/extreme Bradykardie: Verwenden Sie frühzeitig einen Schrittmacher (< 1 min).
 - PEA: Korrigieren Sie potenziell reversible Ursachen. Wenn der Patient an einen Schrittmacher angeschlossen ist, deaktivieren Sie die Stimulation, um VF auszuschließen.
- → Kein ROSC:
 - Beginnen Sie mit Thoraxkompressionen und Beatmung.
 - Führen Sie frühzeitig eine Resterotomie durch (< 5 min).
 - Erwägen Sie Geräte zur Kreislaufunterstützung und eCPR.

Katheterlabor

Vorsorge und Vorbereitung

- Stellen Sie eine adäquate Ausbildung des Personals in Reanimationstechnik und erweiterten Maßnahmen sicher.
- Verwenden Sie Sicherheitschecklisten.

Erkennen Sie einen Kreislaufstillstand und aktivieren Sie den entsprechenden Algorithmus.

- Überprüfen Sie regelmäßig den Status des Patienten und überwachen Sie seine Vitalfunktionen.
- Erwägen Sie eine Echokardiographie bei hämodynamischer Instabilität oder Verdacht auf Komplikation.
- Rufen Sie Hilfe und aktivieren Sie den entsprechenden Algorithmus.

Reanimieren Sie und behandeln Sie mögliche Ursachen

- Reanimieren Sie nach einem **modifizierten ALS-Algorithmus**:

- VF/pVT-Kreislaufstillstand: Defibrillieren Sie mit bis zu 3 aufeinanderfolgenden Schocks → kein ROSC → Reanimation nach ALS-Algorithmus.
- Asystolie/PEA → Reanimation nach ALS-Algorithmus.
- Prüfen Sie und korrigieren Sie gegebenenfalls potenziell reversible Ursachen, auch mit Echokardiographie und Angiographie.
- Erwägen Sie mechanische Thoraxkompression und Geräte zur Kreislaufunterstützung (einschließlich eCPR).

Dialyseeinheit

- Folgen Sie dem universellen ALS-Algorithmus.
- Lassen Sie eine ausgebildete Dialysepflegekraft das Hämodialysegerät (HD) bedienen.
- Stoppen Sie die Dialyse und geben Sie das Blutvolumen des Patienten mit einem Flüssigkeitsbolus zurück.
- Trennen Sie das Dialysegerät vom Patienten, wenn es nach den Standards des Internationale Normungsorganisation in Genf (IEC) nicht defibrillationssicher ist.
- Halten Sie den Dialysezugang für die Medikamentengabe offen.
- Kurz nach der Wiederbelebung kann eine Dialyse erforderlich sein.
- Sorgen Sie für die sofortige Behandlung einer Hyperkaliämie.
- Vermeiden Sie bei Dialysen übermäßige Kalium- und Volumenverschiebungen.

Zahnarztpraxis

- Ursachen für einen Kreislaufstillstand sind in der Regel bereits bestehende Komorbiditäten, Komplikationen der Behandlung oder allergische Reaktionen.
- Alle Zahnärzte sollen einmal jährlich in der Erkennung und Bewältigung von medizinischen Notfällen einschließlich der Durchführung von CPR, inklusive Grundlagen des Atemwegsmanagements und Verwendung eines AED, praktisch geschult werden.
- Überprüfen Sie den Mundraum des Patienten und entfernen Sie alle

Gerätschaften aus der Mundhöhle (z. B. Retraktor, Saugrohr, Tampons). Vor der Lagerung muss Vorsorge gegen eine Atemwegsobstruktion durch Fremdkörper getroffen werden.

- Reklinieren Sie den Behandlungsstuhl bis zur Horizontale. Wenn ein verringerter venöser Rückfluss oder eine Vasodilatation zu Bewusstlosigkeit geführt haben (z. B. vasovagale Synkope, orthostatische Hypotonie), kann dadurch das Herzzeitvolumen wiederhergestellt werden.
- Stellen Sie zur Stabilisierung einen Hocker o. Ä. unter die Rückenlehne.
- Beginnen Sie sofort mit der Thoraxkompression, während der Patient flach auf dem Stuhl liegt.
- Erwägen Sie die Über-Kopf-Technik für CPR, wenn der Zugang von den Seiten eingeschränkt ist.
- Die Grundausstattung für eine Standard-CPR einschließlich Beutel-Maske soll sofort verfügbar sein.

Transport.

Kreislaufstillstand während eines Flugs

- Es soll medizinische Hilfe in Anspruch genommen werden (Ansprache während des Flugs).
- Der Ersthelfer soll im Beinraum vor den Gangplätzen knien, um die Thoraxkompressionen durchzuführen, wenn der Patient nicht innerhalb weniger Sekunden in einen Bereich mit ausreichender Bodenfläche (Galley) gebracht werden kann.
- Über-Kopf-CPR ist eine mögliche Option bei begrenztem Raum.
- Das Atemwegsmanagement soll sich nach der verfügbaren Ausrüstung und dem Fachwissen des Ersthelfers richten.
- Wenn sich die Flugroute bei einer laufenden Wiederbelebung mit hoher ROSC-Wahrscheinlichkeit über offenem Wasser befindet, sollen Sie frühzeitig eine Routenänderung in Betracht ziehen.
- Berücksichtigen Sie die Risiken einer Routenänderung, wenn ein ROSC unwahrscheinlich ist, geben Sie der Flugzeugbesatzung adäquate Empfehlungen.

- Wenn die CPR beendet wird (kein ROSC), soll normalerweise keine Routenänderung vorgenommen werden.

Hubschrauberrettung (HEMS) und Verlegungsflüge

- Die korrekte Beurteilung des Patienten vor dem Flug, das frühzeitige Erkennen und die Kommunikation innerhalb des Teams, frühzeitige Defibrillation, hochwertige CPR mit minimaler Unterbrechung der Thoraxkompression und die Behandlung reversibler Ursachen vor dem Flug sind die wichtigsten Maßnahmen zur Vorbeugung einer CPR während der Hubschrauberrettung.
- Überprüfen Sie den Patientenstatus vor dem Flug ordnungsgemäß. Manchmal ist ein Bodentransport eine geeignete Alternative, insbesondere für Patienten mit hohem Reanimationsrisiko.
- Überprüfen Sie vor dem Flug die Sicherheit des Atemwegs und den Anschluss ans Beatmungsgerät. Bei einem Kreislaufstillstand eines nichtbeatmeten Patienten während des Flugs erwägen Sie einen SGA für das initiale Atemwegsmanagement.
- Monitoring durch Pulsoxymetrie (Sauerstoffsättigung, SpO₂) und eine Sauerstoffzufuhr sollen sofort verfügbar sein, sofern sie nicht bereits angeschlossen und aktiv sind.
- Die CPR soll so schnell wie möglich begonnen werden. Je nach Hubschraubertyp kann eine Über-Kopf-CPR (OTH-CPR) möglich sein.
- Wenn die Kabinengröße keine hochwertige Reanimation zulässt, überlegen Sie, sofort zu landen.
- Prüfen Sie immer, ob es sinnvoll ist, vor dem Flug ein mechanisches CPR-Gerät anzubringen.
- Erwägen Sie bei defibrillierbarem Rhythmus während des Flugs 3 aufeinanderfolgende Schocks.
- Die Defibrillation während des Flugs ist sicher.

Kreuzfahrtschiff

- Verwenden Sie sofort alle medizinischen Ressourcen (Personal, Ausrüstung).

- In Küstennähe aktivieren Sie „Helicopter Emergency Medical Services“ (HEMS).
- Erwägen Sie frühzeitig telemedizinische Unterstützung.
- Halten Sie jede für ALS benötigte Ausrüstung an Bord bereit.
- Bei unzureichender Zahl von medizinischem Personal zur Behandlung eines Kreislaufstillstands lassen Sie über eine Lautsprecheransage weiteres medizinisches Personal an Bord suchen.

Kreislaufstillstand beim Sport.

Planung

- Alle Sport- und Trainingseinrichtungen sollen eine medizinische Risikobewertung für einen Kreislaufstillstand durchführen.
- Wenn ein erhöhtes Risiko besteht, muss die Planung zur Risikominimierung Folgendes einschließen:
 - Schulung von Mitarbeitern und Mitgliedern hinsichtlich der Erkennung und Behandlung des Kreislaufstillstands.
 - Vorhalten eines AED oder zumindest eindeutige Beschilderung zum nächstgelegenen öffentlich zugänglichen AED.

Implementierung

- Erkennen Sie den Kollaps.
- Erhalten Sie sofortigen, sicheren Zugang zum Spielfeld.
- Rufen Sie Hilfe und aktivieren Sie den Rettungsdienst.
- Prüfen Sie die Vitalparameter (Lebenszeichen).
- Gibt es keine Lebenszeichen:
 - CPR beginnen.
 - Sorgen Sie für einen AED und defibrillieren Sie, falls indiziert.
- Wenn ein ROSC eintritt, beobachten und überwachen Sie den Erkrankten sorgfältig, bis qualifiziertes medizinisches Personal eintrifft.
- Wenn kein ROSC eintritt:
 - Setzen Sie die CPR und Defibrillation fort, bis qualifiziertes medizinisches Personal eintrifft.
 - In einer Sportarena erwägen Sie, den Patienten an einen weniger ex-

ponierten Ort zu bringen und dort die Wiederbelebung fortzusetzen. Dies soll mit minimaler Unterbrechung der Thoraxkompressionen erreicht werden.

Prävention

- Gehen Sie nicht zum Training, insbesondere Work-out oder Leistungssport, wenn Sie sich unwohl fühlen.
- Befolgen Sie medizinischen Rat zum Trainingsniveau oder Wettkampf.
- Erwägen Sie für junge Sportler, die Leistungssport auf hohem Niveau betreiben, ein kardiologisches Screening.

Ertrinken.

Rettung

- Führen Sie eine dynamische Risikobewertung durch, in die Machbarkeit, Überlebenschancen und Risiken für den Retter eingehen:
 - Die Submersionsdauer ist der härteste Prädiktor für das Outcome.
 - Der Salzgehalt wirkt sich uneinheitlich auf das Ergebnis aus.
- Bewerten Sie Bewusstsein und Atmung:
 - Wenn der Betroffene bei Bewusstsein ist und/oder normal atmet, versuchen Sie, einen Kreislaufstillstand zu verhindern.
 - Wenn er bewusstlos ist und nicht normal atmet, beginnen Sie mit der Reanimation.

Prävention des Kreislaufstillstands

A. Airway

- Sichern Sie einen offenen Atemweg.
- Behandeln Sie lebensbedrohliche Hypoxie mit 100 % inspiratorischem Sauerstoff, bis die Sauerstoffsättigung (S_pO_2) oder der Sauerstoffpartialdruck (P_aO_2) zuverlässig gemessen werden kann.
- Sobald die Sauerstoffsättigung (S_pO_2) zuverlässig gemessen werden kann oder eine arterielle Blutgasanalyse bekannt ist, titrieren Sie den inspiratorischen Sauerstoff so, dass eine arterielle Sauerstoffsättigung (S_aO_2) von 94 bis 98 % oder ein arterieller Sauerstoffpartialdruck (P_aO_2) von 10 bis

13 kPa (75–100 mm Hg) erreicht wird.

B. Breathing

- Beurteilen Sie die Atemfrequenz, den Einsatz der Atemhilfsmuskulatur, die Fähigkeit, in ganzen Sätzen zu sprechen, die pulsoxymetrische Sauerstoffsättigung (S_pO_2), die Perkussion und Auskultation; fordern Sie ein Thoraxröntgenbild an.
- Erwägen Sie bei Atemnot eine nichtinvasive Beatmung, wenn diese sicher durchzuführen ist.
- Führen Sie bei Atemnot eine invasive Beatmung durch, wenn die nichtinvasive Beatmung nicht sicher oder nicht möglich ist.
- Erwägen Sie eine extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO), wenn die Reaktion auf die invasive Beatmung schlecht ist.

C. Circulation

- Beurteilen Sie Herzfrequenz und Blutdruck, schreiben Sie ein EKG.
- Sorgen Sie für einen i.v.-Zugang.
- Erwägen Sie eine i.v.-Infusion und/oder vasoaktive Pharmaka, um die Zirkulation zu verbessern.

D. Disability

- Bewerten Sie die den neurologischen Status unter Verwendung von AVPU (Vigilanzklassifikation) oder GCS (Glasgow-Koma-Skala).

E. Exposure

- Messen Sie die Körperkerntemperatur.
- Beginnen Sie den Hypothermiealgorithmus, wenn die Kerntemperatur $< 35^\circ C$ ist.

Kreislaufstillstand

- Beginnen Sie mit der Reanimation, sobald dies sicher und praktikabel ist. Wenn der Ersthelfer ausgebildet und im Stande ist, kann dies den Beginn von Beatmungen noch im Wasser oder Beatmung und Thoraxkompression auf einem Boot umfassen.
- Beginnen Sie die Wiederbelebung mit 5 Atemspenden/Beatmungen mit 100 % inspiratorischem Sauerstoff, falls verfügbar.
- Bleibt die Person bewusstlos, ohne normale Atmung, beginnen Sie mit Thoraxkompressionen.

- Wechseln Sie zwischen 30 Thoraxkompressionen und 2 Beatmungen ab.
- Legen Sie einen AED an, falls verfügbar, und folgen Sie den Anweisungen.
- Intubieren Sie endotracheal, wenn Sie dies sicher beherrschen.
- Erwägen Sie eCPR gemäß lokalem Vorgehen, wenn die ersten Wiederbelebungsmaßnahmen nicht erfolgreich sind.

Großschadensfall.

- Identifizieren Sie Risiken und fordern Sie, wenn nötig, sofort Unterstützung an.
- Verwenden Sie je nach den speziellen Risiken vor Ort eine angemessene persönliche Schutzausrüstung (PSA, z. B. kugelsichere Weste, Atemschutzmaske, langärmeligen Schutzkittel, Augen- und Gesichtsschutz).
- Reduzieren Sie sekundäre Risiken für andere Patienten und Ersthelfer.
- Verwenden Sie ein lokal gültiges Triage-System, um die Behandlung zu priorisieren.
- Führen Sie lebensrettende Maßnahmen bei Patienten durch, die als „sofort therapieren“ (höchste Priorität) eingestuft wurden, um einen Kreislaufstillstand zu verhindern.
- Denken Sie daran, älteren Menschen und Überlebenden eines Hochenergetraumas ein höheres Triagerisiko zuzuweisen, um vermeidbare Todesfälle zu reduzieren.
- Medizinisches Fachpersonal muss regelmäßig geschult werden, um den Umgang mit Triageprotokollen bei Simulationen und Live-Übungen zu trainieren.

Spezielle Patienten

Asthma und COPD.

Prävention des Kreislaufstillstands

A. Atemweg

- Sichern Sie einen offenen Atemweg.
- Behandeln Sie eine lebensbedrohliche Hypoxie mit Sauerstoff mit hohem Flow.
- Titrieren Sie die anschließende Sauerstofftherapie nach Pulsoxymetrie (S_pO_2 94–98 % bei Asthma; 88–92 % bei chronisch-obstruktiver Lungenerkrankung, COPD).

B. Breathing

- Beurteilen Sie die Atemfrequenz, den Gebrauch der Atemhilfsmuskulatur, die Fähigkeit, in ganzen Sätzen zu sprechen, die pulsoxymetrische Sauerstoffsättigung (S_pO_2), die Perkussion und Auskultation; fordern Sie ein Thoraxröntgenbild an.
- Suchen Sie nach Hinweisen auf einen (Spannungs-)Pneumothorax.
- Vernebeln Sie Bronchodilatoren (mit Sauerstoff für Asthma bzw. Luft für COPD).
- Applizieren Sie Steroide i.v. (Prednisolon 40–50 mg oder Hydrokortison 100 mg).
- Erwägen Sie Magnesiumsulfat i.v. bei Asthma bronchiale.
- Lassen Sie sich vor der i.v.-Gabe von Aminophyllin oder Salbutamol beraten.

C. Circulation

- Beurteilen Sie Herzfrequenz und Blutdruck, leiten Sie ein EKG ab.
- Sorgen Sie für einen i.v.-Zugang.
- Erwägen Sie i.v.-Infusionen.

Behandlung des Kreislaufstillstands

- Applizieren Sie 100 % Sauerstoff.
- Beatmen Sie mit einer physiologischen Atemfrequenz (8–10/min) und einem ausreichenden Atemzugvolumen, damit sich die Brust hebt.
- Intubieren Sie endotracheal, wenn Sie dies sicher beherrschen.
- Prüfen Sie auf Zeichen eines Spannungspneumothorax und therapieren Sie entsprechend.
- Trennen Sie den Patienten gegebenenfalls von der Überdruckbeatmung und drücken Sie auf den Thorax, um eine Überblähung manuell zu reduzieren.
- Erwägen Sie i.v.-Infusionen.
- Ziehen Sie eine eCPR nach lokalen Protokollen in Betracht, wenn die ersten Wiederbelebungsmaßnahmen nicht erfolgreich sind.

Neurologische Erkrankung.

- Es sind keine Änderungen bei den BLS- und ALS-Maßnahmen bei Kreislaufstillstand aufgrund einer

primären neurologischen Ursache erforderlich.

- Beachten Sie nach einem ROSC klinische Merkmale wie junges Alter, weibliches Geschlecht, nichtschockbarer Rhythmus und neurologische Vorboten wie Kopfschmerzen, Krampfanfälle und fokales neurologisches Defizit, wenn Sie eine neurologische Ursache für einen Kreislaufstillstand vermuten.
- Eine neurologische Ursache kann durch eine zerebrale Computertomographie bei Hauseinweisung vor oder nach der Koronarangiographie identifiziert werden.
- In Abwesenheit von Zeichen oder Symptomen, die auf eine neurologische Ursache hinweisen, wie z. B. Kopfschmerzen, Krampfanfälle oder neurologische Defizite, oder wenn klinische oder EKG-Hinweise auf eine Myokardischämie vorliegen, wird zuerst eine Koronarangiographie durchgeführt, gefolgt von einer zerebralen Computertomographie, wenn keine ursächlichen Läsionen vorliegen.

Adipositas.

- Effektive CPR kann bei adipösen Patienten aufgrund einer Reihe von Faktoren schwierig sein:
 - Zugang zum Patienten und Transport,
 - Gefäßzugang,
 - Atemwegsmanagement,
 - Qualität der Thoraxkompression,
 - Wirksamkeit vasoaktiver Pharmaka,
 - Effektivität der Defibrillation.
- Führen Sie Thoraxkompressionen mit einer maximalen Eindringtiefe von 6 cm durch.
- Übergewichtige Patienten, die in einem Bett liegen, müssen nicht unbedingt auf den Boden gezogen werden.
- Wechseln Sie den Ersthelfer, der die Thoraxkompression durchführt, häufiger.
- Erwägen Sie, die Defibrillationsenergie für wiederholte Schocks auf das Maximum zu erhöhen.
- Die Beutel-Maske-Beatmung soll so kurz wie möglich sein und von

erfahrenem Personal in der 2-Helfer-Technik durchgeführt werden.

- Ein erfahrener Ersthelfer soll frühzeitig endotracheal intubieren, damit die Beutel-Maske-Beatmung nur kurzzeitig durchgeführt wird.

Schwangerschaft.

Verhinderung eines Kreislaufstillstands bei einer schwangeren Patientin, die sich verschlechtert

- Nutzen Sie ein validiertes geburtshilfliches Frühwarnsystem, wenn Sie eine kranke schwangere Patientin versorgen.
- Verwenden Sie das systematische ABCDE-Konzept, um den Zustand der schwangeren Patientin zu beurteilen und sie zu behandeln.
- Platzieren Sie die Patientin in linkslateraler Position oder schieben Sie den Uterus manuell vorsichtig nach links, um die aortokavale Kompression zu minimieren.
- Verabreichen Sie pulsoxymetrie-gesteuert Sauerstoff, um eine Hypoxämie zu korrigieren.
- Geben Sie einen Flüssigkeitsbolus, wenn die Patientin hypoton ist oder Anzeichen einer Hypovolämie vorliegen.
- Reevaluieren Sie sofort, ob die bisher gegebenen Medikamente notwendig sind.
- Ziehen Sie Experten hinzu: Fachärzte für Geburtshilfe, Anästhesie, Intensivmedizin und Neonatologie/Pädiatrie sollen bei einer Reanimation frühzeitig hinzugeholt werden.
- Klären und behandeln Sie die zugrunde liegende Ursache des Kreislaufstillstands, z. B. Kontrolle von Blutungen oder Sepsis.
- Geben Sie bei postpartalen Blutungen 1 g Tranexamsäure i.v.

Modifikation der erweiterten lebensrettenden Maßnahmen bei schwangeren Patientinnen

- Fordern Sie frühzeitig Experten-hilfe an, auch Gynäkologen und Neonatologen/Pädiater.
- Starten Sie die lebensrettenden Basismaßnahmen nach den Standardleitlinien.

- Verwenden Sie die Standardtechnik der Thoraxkompression auf der unteren Hälfte des Brustbeins, wenn dies möglich ist.
- Wenn das Gestationsalter über 20 Wochen liegt oder der Uterus über Nabelniveau tastbar ist:
 - Verlagern Sie den Uterus manuell nach links, um ein Venacava-Kompressionssyndrom zu verhindern.
 - Wenn möglich, drehen Sie die Schwangere leicht nach links, der Oberkörper soll aber auf hartem Untergrund (z. B. auf dem OP-Tisch) bleiben. Der optimale Winkel ist nicht bekannt. Streben Sie einen Winkel von 15 bis 30 Grad an. Sogar eine leichte Drehung kann besser sein als keine. Die gewählte Position muss effektive Thoraxkompression gestatten und bei Bedarf muss ein Kaiserschnitt möglich sein.
- Bereiten Sie frühzeitig eine Notfallhysterostomie vor. Das Kind muss entbunden werden, wenn die Reanimation nicht sofort, innerhalb von 4 min, gelingt.
- Wenn das Gestationsalter über 20 Wochen liegt oder der Uterus über Nabelniveau tastbar ist und die sofortige Reanimation, innerhalb von 4 min, misslingt, entbinden Sie den Fötus durch einen Notfallkaiserschnitt in einem Zeitfenster von 5 min nach dem Kreislaufstillstand.
- Platzieren Sie die Defibrillator-Pads so standardisiert wie möglich und verwenden Sie die Standarddefibrillatoreinstellungen.
- Erwägen Sie eine frühe endotracheale Intubation durch einen erfahrenen Helfer.
- Klären und behandeln Sie reversible Ursachen, z. B. Blutungen. Fokussierter Ultraschall durch einen erfahrenen Untersucher kann helfen, reversible Ursachen für den Kreislaufstillstand zu identifizieren und behandeln.
- Erwägen Sie eCPR als Ausweg, wenn die ALS-Maßnahmen fehlschlagen.

Vorbereitung für den Kreislaufstillstand bei Schwangeren

- Medizinische Einrichtungen, in denen Kreislaufstillstand bei Schwangeren vorkommen kann, sollen
 - ... Pläne und Ausrüstung für die Reanimation sowohl der schwangeren Frau als auch des Neugeborenen vorhalten.
 - ... sicherstellen, dass frühzeitig Teams für Gynäkologie und Geburtshilfe, Anästhesie, Intensivmedizin und Neonatologie/Pädiatrie zugezogen werden können.
 - ... regelmäßige Schulungen für geburtshilfliche Notfälle organisieren.

Postreanimationsbehandlung

Der European Resuscitation Council (ERC) und die European Society of Intensive Care Medizin (ESICM) haben zusammengearbeitet, um diese Leitlinien zur Postreanimationsbehandlung zu erstellen, die auf dem International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations 2020 beruht. Die behandelten Themen umfassen das Postreanimations-syndrom, die Kontrolle der Sauerstoffversorgung und Beatmung, hämodynamische Ziele, koronare Reperfusion, gezieltes Temperaturmanagement, Therapie von Anfällen, Prognoseerstellung, Rehabilitation und Langzeitergebnisse.

Diese Leitlinien führen relativ wenige wesentliche Änderungen gegenüber den ERC-ESICM-Leitlinien für die Postreanimationsbehandlung von 2015 ein. Zu den wichtigsten Änderungen gehören Leitlinien für die allgemeine Intensivpflege wie die Verwendung von Muskelrelaxanzien, die Prophylaxe von Stressulzera und die Ernährung, detailliertere Anfallsbehandlung, Änderungen des Prognosealgorithmus und eine stärkere Betonung der funktionalen Bewertung von körperlichen und nichtkörperlichen Beeinträchtigungen vor der Entlassung sowie die langfristige Nachsorge, Rehabilitation und Bedeutung der Überlebenssituation nach Kreislaufstillstand.

Die wichtigen Kernaussagen dieses Abschnitts sind in [Abb. 10](#) dargestellt. Der Algorithmus Postreanimationsbehandlung ist [Abb. 11](#).

POSTREANIMATIONSBEHANDLUNG 2021
5 Kernaussagen

1. Nach ROSC gehen Sie nach dem ABC-Konzept vor

- Erweiterte Atemwegssicherung (endotracheale Intubation wenn möglich)
- Inspiratorische Sauerstoffgabe titriert auf 94-98% SpO₂ und Normokapnie-Beatmung
- Zuverlässiger intravenöser Zugang, um Normovolämie wiederherzustellen, Hypotension vermeiden (RR Ziel >100 mmHg)

2. Notfall-Herzkatheter +/- sofortige PCI nach Kreislaufstillstand mit vermuteter kardialer Ursache und ST-Hebung im EKG

3. Verwende gezieltes Temperatur-Management (TTM) bei Erwachsenen mit ROSC, die nach einem Kreislaufstillstand komatös bleiben (Ereignis innerhalb und außerhalb des Krankenhauses; nach allen initialen Rhythmen)

4. Verwende einen multimodalen Ansatz zur Prognosestellung unter Verwendung von klinischer Untersuchung, Elektrophysiologie, Bestimmung von Biomarkern und Bildgebung

5. Erfasse physische und nicht-physische Defizite sowohl vor als auch nach Entlassung aus dem Krankenhaus und überweise in die Rehabilitation falls erforderlich

Abb. 10 ▲ Postreanimationsbehandlung Infografik

Sofortige Postreanimationsbehandlung

- Die Postreanimationsbehandlung wird unabhängig vom Ort unmittelbar nach einem anhaltenden ROSC begonnen.
- Bei einem Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses sollen Sie prüfen, ob der Transport zu einem Cardiac Arrest Zentrum indiziert ist.

Diagnose der Ursache des Kreislaufstillstands

- Eine respiratorische oder neurologische Ursache kann durch eine thorakale oder zerebrale Computertomographie bei Klinikeinweisung vor oder nach der Koronarangiographie erkannt werden (siehe Koronarperfusion).
- Liegen keine Anzeichen oder Symptome für eine neurologische oder respiratorische Ursache vor, wie z. B. Kopfschmerzen, Krampfanfälle oder neurologische Defizite, Atemnot oder eine dokumentierte Hypox-

ämie bei Patienten mit bekannter Atemwegserkrankung, bzw. wenn klinische oder EKG-Hinweise auf eine Myokardischämie vorliegen, führen Sie zuerst eine Koronarangiographie durch. Darauf folgt die Computertomographie, sofern mittels Koronarangiographie keine ursächlichen Läsionen identifiziert werden konnten.

Atemwege und Atmung

Atemwegsmanagement nach ROSC.

- Die Sicherung der Atemwege und die Beatmung sollen nach ROSC fortgesetzt werden.
- Patienten, die nur kurzzeitig einen Kreislaufstillstand hatten und sofort wieder eine normale Gehirnfunktion und normale Atmung aufweisen, benötigen meist keine endotracheale Intubation, sollen jedoch Sauerstoff über eine Gesichtsmaske erhalten, wenn ihre Sauerstoffsättigung (S_pO₂) unter 94 % liegt.
- Patienten, die nach ROSC im Koma bleiben oder eine andere klinische Indikation für Sedierung und mechanische Beatmung haben, sollen intubiert werden, wenn dies nicht bereits während der CPR geschehen ist.
- Die endotracheale Intubation soll nur von Erfahrenen mit hoher Erfolgsrate durchgeführt werden.
- Die Lage des Endotrachealtubus muss durch die Kapnographie bestätigt werden.

Kontrolle der Oxygenierung.

- Geben Sie nach ROSC 100 % (oder maximal verfügbaren) inspiratorischen Sauerstoff, bis die arterielle Sauerstoffsättigung (S_aO₂) oder der arterielle Sauerstoffpartialdruck (P_aO₂) zuverlässig gemessen werden kann.
- Kann nach dem ROSC die Sauerstoffsättigung (S_pO₂) zuverlässig gemessen werden oder stehen arterielle Blutgaswerte zur Verfügung, titrieren Sie den eingeatmeten Sauerstoff, sodass Sie eine arterielle Sauerstoffsättigung (S_aO₂) von 94 bis 98 % oder einen arteriellen Sauerstoffpartialdruck

SOFORTIGE BEHANDLUNG

DIAGNOSTIK

ERHOLUNG OPTIMIEREN

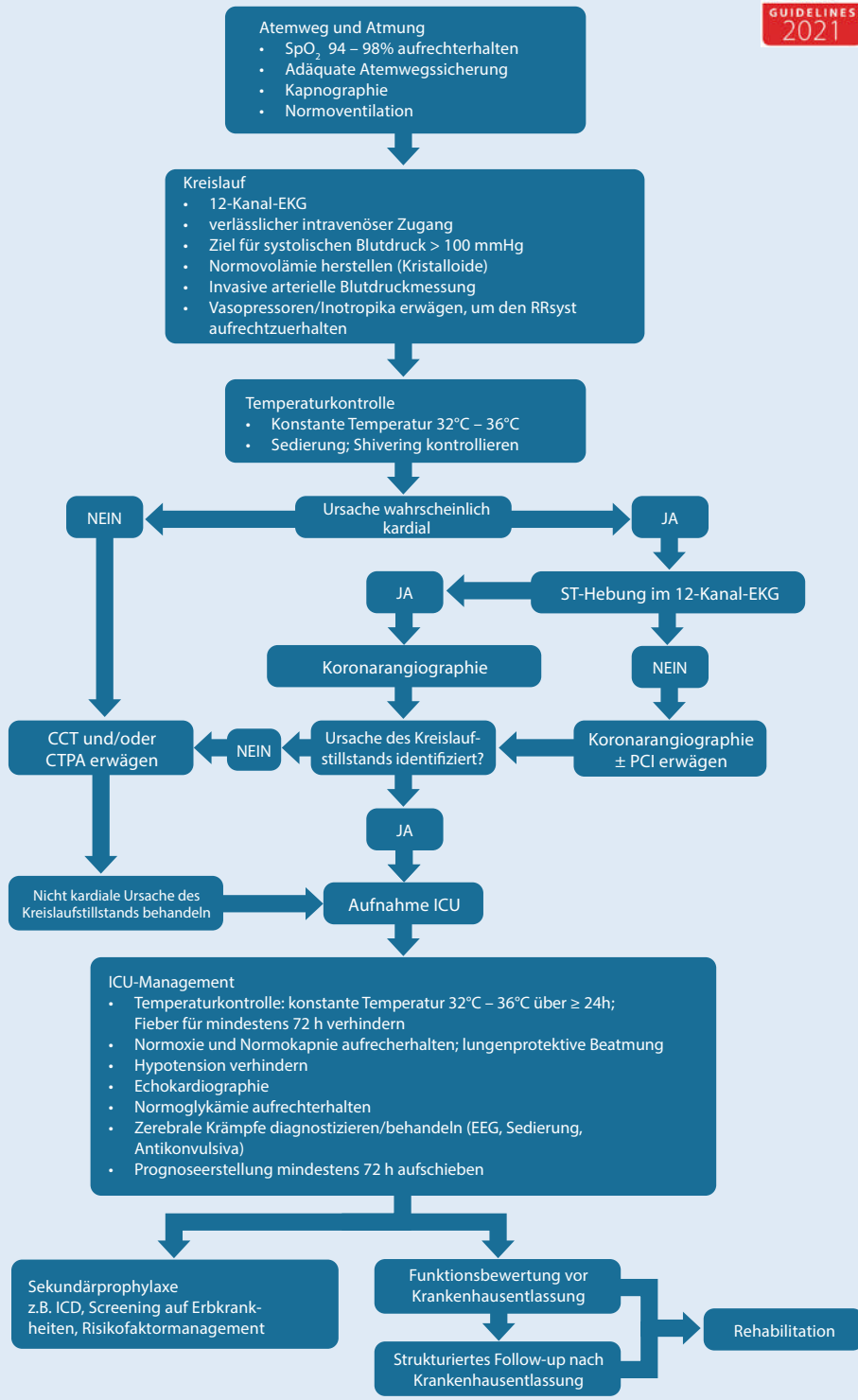


Abb. 11 ◀ Postreanimationsbehandlung Algorithmus

(P_{aO_2}) von 10 bis 13 kPa bzw. 75 bis 100 mm Hg erreichen.

- Vermeiden Sie nach ROSC eine Hypoxämie ($P_{aO_2} < 8$ kPa bzw. < 60 mm Hg).
- Vermeiden Sie nach ROSC eine Hyperoxämie.

Kontrolle der Beatmung.

- Sorgen Sie für eine arterielle Blutgasanalyse und richten Sie sich bei beatmeten Patienten nach dem endtidalen Kohlendioxid ($etCO_2$).
- Streben Sie bei Patienten, die nach ROSC eine Beatmung benötigen, einen normalen arteriellen Kohlendioxidpartialdruck (P_{aCO_2}) an, d. h. P_{aCO_2} 4,5–6,0 kPa bzw. 35–45 mm Hg.
- Überwachen Sie bei Patienten, die mit einem gezielten Temperaturmanagement (TTM) behandelt werden, den arteriellen Kohlendioxidpartialdruck (P_{aCO_2}) engmaschig, da eine Hypokapnie auftreten kann.
- Verwenden Sie bei TTM und niedrigeren Temperaturen einheitlich entweder temperaturkorrigierte oder nichttemperaturkorrigierte Blutgaswerte.
- Beatmen Sie lungenprotektiv mit einem Atemzugvolumen von 6 bis 8 ml/i kgKG (ideales Körpergewicht in kg).

Kreislauf

Koronare Reperfusion.

- Bei erwachsenen Patienten mit ROSC soll nach einem Kreislaufstillstand bei Verdacht auf eine kardiale Ursache mit ST-Erhöhung im EKG notfallmäßig eine Koronarangiographie und gegebenenfalls eine sofortige perkutane Koronarintervention (PCI) durchgeführt werden.
- Bei Patienten mit ROSC nach einem präklinischen Kreislaufstillstand (OHCA) ohne ST-Erhöhung im EKG soll eine notfallmäßige Koronarangiographie erwogen werden, wenn die Wahrscheinlichkeit eines akuten Koronarverschlusses eher hoch eingeschätzt wird, z. B. bei Patienten mit hämodynamischer und/oder elektrischer Instabilität.

Hämodynamische Überwachung und Behandlung.

- Alle Patienten sollen mittels arterieller Blutdruckmessung kontinuierlich überwacht werden. Bei hämodynamisch instabilen Patienten ist das Monitoring des Herzzeitvolumen sinnvoll.
- Führen Sie bei allen Patienten frühzeitig eine Echokardiographie durch, um eine zugrunde liegende Schädigung zu erkennen und den Grad der Myokardfunktionsstörung zu quantifizieren.
- Vermeiden Sie eine Hypotonie (< 65 mm Hg). Ziel des mittleren arteriellen Drucks (MAP) sind eine angemessene Stundenurinmenge ($> 0,5$ ml/kgKG/h) und ein normales oder abnehmendes Laktat.
- Während des TTM mit 33°C kann eine Bradykardie unbehandelt bleiben, wenn Blutdruck, Laktat, $S_{cv}O_2$ oder S_vO_2 adäquat sind. Wenn nicht, sollen Sie die Zieltemperatur erhöhen.
- Halten Sie patientenadaptiert die Perfusion mit Volumen, Noradrenalin und/oder Dobutamin aufrecht, orientieren Sie sich am intravaskulären Volumen, Vasokonstriktion oder Inotropie.
- Geben Sie keine Steroide routinemäßig nach einem Kreislaufstillstand.
- Vermeiden Sie eine Hypokaliämie, da sie mit ventrikulären Arrhythmien verbunden ist.
- Erwägen Sie eine mechanische Kreislaufunterstützung, z. B. eine intraaortale Ballonpumpe (IABP), ein linksventrikuläres Assist Device (LAD) oder eine extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO), wenn bei einem andauernden kardiogenen Schock die Behandlung mit Volumen, Inotropika und vasoaktiven Pharmaka unzureichend ist.

Disability (Optimierung der neurologischen Erholung) Beherrschen von Krampfanfällen.

- Um Krampfanfälle nach einem Kreislaufstillstand zu behandeln, empfehlen wir Levetiracetam oder Natriumvalproat als First-line-Anti-

epileptika zusätzlich zur Gabe von Sedativa.

- Wir empfehlen, die Elektroenzephalographie (EEG) einzusetzen, um das klinische Krampfbild der Anfälle elektrographisch zu erfassen und die Behandlungseffekte zu überwachen.
- Wir empfehlen nach Kreislaufstillstand keine routinemäßige Anfallsprophylaxe.

Temperaturregelung.

- Wir empfehlen ein gezieltes Temperaturmanagement (TTM) für Erwachsene nach außer- (OHCA) oder innerklinischem (IHCA) Kreislaufstillstand, die nach ROSC nicht ansprechbar werden (unabhängig vom Anfangsrhythmus).
- Halten Sie die Zieltemperatur für mindestens 24 h konstant zwischen 32 und 36°C .
- Vermeiden Sie Fieber für mindestens 72 h nach ROSC bei Patienten, die komatös bleiben.
- Verwenden Sie nicht schon präklinisch kalte i.v.-Infusionen, um die Kühlung zu beginnen.

Allgemeines Intensivmanagement.

- Verwenden Sie kurz wirksame Sedativa und Opioide.
- Vermeiden Sie die routinemäßige Verwendung von Muskelrelaxanzien bei TTM-Patienten, sie können jedoch bei starkem Zittern während des TTM erwogen werden.
- Verabreichen Sie bei Patienten nach Kreislaufstillstand routinemäßig Medikamente zur Stressulkusprophylaxe.
- Beugen Sie einer tiefen Venenthrombose vor.
- Peilen Sie einen Blutzuckerspiegel von 5 bis 10 mmol/l (90 bis 180 mg/dl) an, verwenden Sie bei Bedarf eine Insulininfusion.
- Beginnen Sie während des TTM mit enteraler Ernährung in geringen Mengen (trophische Ernährung) und steigern Sie diese nach dem Wiedererwärmen, falls indiziert. Wenn ein TTM mit 36°C als Zieltemperatur verwendet wird, kann die enterale Ernährung früher begonnen werden.

- Wir empfehlen keine routinemäßige prophylaktische Antibiotikagabe.

Prognoseerstellung

Allgemeine Leitlinien.

- Bei Patienten, die nach einer Reanimation komatös bleiben, soll eine neurologische Prognosestellung unter Verwendung von klinischer Untersuchung, Elektrophysiologie, Biomarkern und Bildgebung durchgeführt werden. Dadurch kann man einerseits die Angehörigen des Patienten informieren und es hilft andererseits den behandelnden Ärzten, den Patienten gezielt auf der Grundlage seiner individuellen Chancen auf neurologische Erholung zu therapieren.
- Kein einzelner Prädiktor ist zu 100 % genau. Daher wird eine multimodale neurologische Prognosestrategie empfohlen.
- Wenn ein schlechtes neurologisches Ergebnis erwartet wird, sind eine hohe Spezifität und Präzision wünschenswert, um eine falsche pessimistische Prognose zu vermeiden.
- Die klinisch-neurologische Untersuchung ist von zentraler Bedeutung für die Prognose. Um falsche pessimistische Vorhersagen zu vermeiden, sollen Ärzte mögliche Störfaktoren wie Beruhigungsmittel und andere Medikamente berücksichtigen, die die Ergebnisse der Tests verfälschen könnten.
- Ärzte müssen sich des Risikos eines „self-fulfilling prophecy bias“ bewusst sein, das auftritt, wenn das Ergebnis eines Indextests, der ein schlechtes Ergebnis vorhersagt, für Behandlungsentscheidungen verwendet wird, das gilt besonders für lebenserhaltende Therapien.
- Prädiktoren für die neurologische Prognose zielen darauf ab, den Schweregrad einer hypoxisch-ischämischen Hirnschädigung zu bestimmen. Die neurologische Prognose ist einer von mehreren Aspekten, die bei Diskussionen über das Genesungspotenzial eines Individuums berücksichtigt werden müssen.

Klinische Untersuchung.

- Die klinische Untersuchung ist anfällig für Störungen durch Sedativa, Opioide oder Muskelrelaxanzien. Eine mögliche Beeinflussung durch die Restsedierung soll immer berücksichtigt und ausgeschlossen werden.
- Ein Glasgow-Motor-Score von ≤ 3 (abnorme Flexion oder schlechter, als Reaktion auf Schmerzen) ≥ 72 h nach ROSC kann Patienten identifizieren, bei denen möglicherweise eine neurologische Prognosestellung erforderlich ist.
- Bei Patienten, die ≥ 72 h nach ROSC komatös sind, können folgende Tests ein schlechtes neurologisches Ergebnis vorhersagen:
 - bilaterales Fehlen der Standardpupillenlichtreflexe,
 - quantitative Pupillometrie,
 - bilaterales Fehlen des Hornhautreflexes,
 - Myoklonien oder ein Status myoclonus während 96 h.
- Wir empfehlen außerdem, unter Myoklonien ein EEG aufzuzeichnen, um eine damit verbundene epileptiforme Aktivität oder weitere EEG-Zeichen wie Hintergrundaktivität oder Kontinuität zu identifizieren, die auf eine potenzielle neurologische Erholung hinweisen.

Neurophysiologie.

- Leiten Sie bei Patienten, die nach dem Kreislaufstillstand bewusstlos sind, ein EEG ab.
- Hochmaligne EEG-Muster sind unterdrückte Hintergrundaktivität mit oder ohne periodische Entladungen und Burst-Suppression-Muster. Wir deuten diese EEG-Muster nach dem Ende des TTM und nach Abklingen der Sedierung als Indikatoren für eine schlechte Prognose.
- Das Vorhandensein eindeutiger Krampfanfälle im EEG während der ersten 72 h nach ROSC ist ein Indikator für eine schlechte Prognose.
- Das Fehlen einer Hintergrundaktivität im EEG ist ein Indikator für eine schlechte Prognose nach Kreislaufstillstand.
- Das bilaterale Fehlen somatosensorisch evozierter kortikaler N20-

Potentiale ist ein Indikator für eine schlechte Prognose nach Kreislaufstillstand.

- Berücksichtigen Sie die Ergebnisse des EEG und die somatosensorisch evozierten Potentiale (SSEP) immer im Zusammenhang mit klinischen Untersuchungsergebnissen und anderen Tests. Erwägen Sie immer die Verwendung eines Muskelrelaxans, wenn Sie SSEP durchführen.

Biomarker.

- Verwenden Sie serielle Messungen der neuronenspezifischen Enolase (NSE) in Kombination mit anderen Methoden, um den Reanimationserfolg vorherzusagen. Steigende Werte zwischen 24 und 48 h oder 72 h in Kombination mit hohen Werten nach 48 und 72 h weisen auf eine schlechte Prognose hin.

Bildgebung.

- Nutzen Sie in Zentren, in denen methodenspezifische Erfahrung besteht, bildgebende Untersuchungsverfahren des Gehirns in Kombination mit anderen Prädiktoren, um ein schlechtes neurologisches Ergebnis nach Kreislaufstillstand vorherzusagen.
- Verwenden Sie den Nachweis eines generalisierten Hirnödems, das sich beim Hirn-CT in einer deutlichen Verringerung des Verhältnisses von grauer zu weißer Substanz oder einer erheblichen Diffusionseinschränkung beim Hirn-MRT darstellt, um ein schlechtes neurologisches Ergebnis nach Kreislaufstillstand vorherzusagen.
- Berücksichtigen Sie zur neurologischen Prognoseerstellung die Ergebnisse der Bildgebung immer in Kombination mit anderen Methoden.

Multimodale Prognose.

- Beginnen Sie die Prognosebewertung mit einer genauen klinischen Untersuchung, die erst möglich wird, nachdem wesentliche Störfaktoren – insbesondere eine Restsedierung – ausgeschlossen wurden.
- Bei einem komatösen Patienten mit $M \leq 3$ nach mehr als 72 h seit ROSC

ist ohne Störfaktoren ein schlechtes Ergebnis wahrscheinlich, wenn zwei oder mehr der folgenden Prädiktoren vorhanden sind:

- keine Pupillen- und Hornhautreflexe nach ≥ 72 h,
 - bilateral fehlende N20-SSEP-Welle nach ≥ 24 h,
 - hochmalignes EEG nach > 24 h,
 - NSE $> 60 \mu\text{g/l}$ nach 48 h und/oder 72 h,
 - Status myoclonus ≤ 72 h oder
 - eine diffuse, ausgedehnte anoxische Schädigung im Hirn CT bzw. MRT.
- Die meisten dieser Symptome können im Zeitraum bis 72 h nach ROSC beobachtet werden. Ihre Ergebnisse werden jedoch nur zum Zeitpunkt der klinischen Prognoseerstellung gewertet.

Abbruch der lebenserhaltenden Therapie

- Trennen Sie Diskussionen über den Abbruch der lebenserhaltenden Therapie (WLST) von der neurologischen Prognosestellung. WLST-Entscheidungen sollen andere Aspekte berücksichtigen als nur die Hirnschädigung, wie Alter, Komorbidität, allgemeine Organfunktion und Patientenwünsche.
- Geben Sie dem Team und den Angehörigen ausreichend Zeit, wenn Sie über den weiteren Behandlungsweg entscheiden.

Langzeitergebnisse nach Kreislaufstillstand

- Führen Sie vor der Krankenhausentlassung eine Funktionsbewertung der körperlichen und nichtkörperlichen Beeinträchtigungen durch, um den Bedarf an Frührehabilitation zu ermitteln, und kümmern Sie sich gegebenenfalls um die Rehabilitation.
- Organisieren Sie das Follow-up für alle Überlebenden eines Kreislaufstillstands innerhalb von 3 Monaten nach der Krankenhausentlassung, einschließlich:
 1. Screening auf kognitive Probleme.
 2. Screening auf emotionale Probleme und Müdigkeit.

3. Informationen und Unterstützung für Überlebende und Familienmitglieder.

Organspende ²

- Alle Entscheidungen bezüglich der Organspende müssen den örtlichen gesetzlichen und ethischen Anforderungen entsprechen.
- Eine Organspende soll bei Personen in Betracht gezogen werden, die einen ROSC haben und die die neurologischen Kriterien für den Hirntod erfüllen.
- Wenn bei komatösen beatmeten Patienten nach Kreislaufstillstand entschieden wird, die lebenserhaltenden Maßnahmen abubrechen und die Sterbebegleitung zu beginnen, soll eine Organspende in Betracht gezogen werden.

Cardiac Arrest Zentren

- Erwachsene mit nichttraumatischem OHCA sollen nach lokalen Regeln zu einem Cardiac Arrest Zentrum transportiert werden.

Erste Hilfe

Der European Resuscitation Council hat diese Leitlinien zur Ersten Hilfe erstellt, die auf dem International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations 2020 beruhen. Die Themen umfassen die Erste Hilfe bei medizinischen Notfällen und Traumata.

- Im Themenbereich „medizinische Notfälle“ werden folgende Inhalte behandelt: Seitenlagerung, optimale Lagerung beim Schock, Gabe von Bronchodilatoren bei Asthma, Erkennen eines Schlaganfalls, frühe Gabe von Acetylsalicylsäure (ASS)

² Die Rechtslage zur Organspende nach persistierendem Kreislaufstillstand („Donation after Death“, DCD) ist in den deutschsprachigen Ländern unterschiedlich: während in Deutschland für die Organspende grundsätzlich die Feststellung des Hirntodes erforderlich ist, ist in Österreich, der Schweiz und Luxemburg die Organspende bei erfolgloser Reanimation grundsätzlich möglich. Im Moment wird sie allerdings aus organisatorisch/logistischen Gründen nur an wenigen Orten durchgeführt

bei Brustschmerzen, zweite Gabe von Adrenalin bei Anaphylaxie, Behandlung einer Unterzuckerung/Hypoglykämie, orale Gabe von Rehydrierungslösungen zur Behandlung einer Dehydratation durch körperliche Anstrengung, Behandlung eines Hitzschlags durch Kühlung, Sauerstoffgabe bei akutem Schlaganfall und Benommenheit.

- Im Themenbereich „Trauma“ werden folgende Themen behandelt: Stillen lebensbedrohlicher Blutungen, Behandlung offener Brustverletzung, Stabilisierung und Immobilisierung der Halswirbelsäule, Erkennen von Gehirnerschütterung, Kühlung von Verbrennungen, Zahnverlust, Kompressionsverband bei Gelenkverletzungen an geschlossenen Extremitäten, Reposition von Frakturen in Fehlstellung und Augenverletzung durch Chemikalien.

Die Kernaussagen dieses Abschnitts sind in **Abb. 12** dargestellt.

Seitenlagerung

Der ERC empfiehlt, Erwachsene und Kinder mit einer verminderten Reaktion aufgrund einer medizinischen Erkrankung oder eines nichtphysischen Traumas, die **nicht** die Kriterien für den Beginn der Atemspende oder der Thoraxkompressionen (CPR) erfüllen, in Seitenlage („recovery position“) zu bringen. Insgesamt gibt es wenig Evidenz, um eine optimale Seitenlage vorzuschlagen. Der ERC empfiehlt folgenden Ablauf:

- Knien Sie neben dem Betroffenen und vergewissern Sie sich, dass beide Beine ausgestreckt sind.
- Legen Sie den Ihnen zugewandten Arm rechtwinkelig zum Körper mit der Handfläche nach oben.
- Legen Sie den anderen Arm über den Brustkorb und halten Sie den Handrücken gegen die Ihnen zugewandte Wange des Patienten.
- Greifen Sie mit Ihrer anderen Hand das gegenüberliegende Bein knapp über dem Knie und ziehen Sie es hoch, der Fuß soll auf dem Boden bleiben.
- Während Sie die Hand gegen die Wange gedrückt halten, ziehen Sie



Abb. 12 ▲ Infografik Erste Hilfe

- am gegenüberliegenden Bein, um den Betroffenen zu Ihnen auf die Seite zu rollen.
- Richten Sie das obere Bein so aus, dass es in Hüfte und Knie jeweils rechtwinkelig gebeugt ist.
- Überstrecken Sie den Nacken, um sicherzustellen, dass die Atemwege frei bleiben.
- Korrigieren Sie die Hand unter der Wange, wenn nötig, sodass der Nacken überstreckt bleibt und das Gesicht nach unten zeigt, um den Abfluss von Flüssigkeiten aus dem Mund zu ermöglichen.

- Überprüfen Sie regelmäßig, ob der Patient normal atmet.
- Lassen Sie den Betroffenen nur unbeaufsichtigt, wenn dies unbedingt erforderlich ist, um sich beispielsweise um andere zu kümmern.

Es ist wichtig und soll hier nochmals betont werden, nichtreagierende Personen bis zum Eintreffen des Rettungsdiensts ständig zu beobachten, um sicherzustellen, dass sie weiterhin normal atmen. Unter Bedingungen wie z. B. bei Schnappatmung im Rahmen einer Reanimation

oder bei Trauma sollen Betroffene nicht in eine Seitenlage gebracht werden.

Optimale Lagerung eines Patienten im Schock

- Legen Sie Personen im Schock auf den Rücken (Rückenlage).
- Wenn keine Verletzungszeichen vorliegen, kann das Anheben der Beine (Autotransfusion) des Betroffenen durch Notfallzeugen bis zum Eintreffen des Rettungsdiensts als vorübergehende Maßnahme in Betracht gezogen werden.

Gabe von Bronchodilatoren bei Asthma bronchiale

- Helfen Sie Asthmatikern mit akuten Atemproblemen bei der Einnahme ihrer bronchienerweiternden Medikamente.
- Ersthelfer müssen mit den verschiedenen Applikationsmethoden vertraut sein.

Erkennen eines Schlaganfalls

- Verwenden Sie bei Verdacht auf einen Schlaganfall einen Schlaganfallerkennungsscore, um die Zeit bis zum Erkennen und Beginn einer wirksamen Therapie zu verkürzen.
- Die folgenden Schlaganfallerkennungsscores sind geeignet:
 - FAST: „face“ (Gesicht), „arm“ (Arme), „speech“ (Sprache), „time to call“ (Zeit bis Notruf).
 - Melbourne Ambulance Stroke Scale (MASS).
 - Cincinnati Prehospital Stroke Scale (CPSS).
 - Los Angeles Prehospital Stroke Scale (LAPSS).
- Die MASS- und LAPSS-Scores können durch Blutzuckermessung erweitert werden.

Frühe Gabe von Acetylsalicylsäure (ASS) bei Brustschmerzen

Für bewusstseinsklare Erwachsene mit nichttraumatischen Brustschmerzen aufgrund eines vermuteten Myokardinfarkts gilt:

- Beruhigen Sie den Betroffenen.
- Setzen oder legen Sie ihn in eine bequeme Position.
- Setzen Sie den Notruf ab.

- Ersthelfer sollen den Betroffenen ermutigen und unterstützen, so bald wie möglich nach Einsetzen der Brustschmerzen 150–300 mg ASS-Kautabletten zu nehmen.
- Geben Sie Erwachsenen mit Brustschmerzen unklarer oder traumatischer Ursache kein ASS.
- Es besteht ein relativ geringes Risiko für Komplikationen, insbesondere für Anaphylaxie und schwere Blutungen. Geben Sie Erwachsenen mit einer bekannten Allergie gegen Acetylsalicylsäure oder Kontraindikationen wie schwerem Asthma bronchiale oder bekannten Magen-Darm-Blutungen kein ASS.

Anaphylaxie

Das Management der Anaphylaxie wurde in Kreislaufstillstand unter „besondere Umstände“ beschrieben.

- Wenn die Symptome der Anaphylaxie 5 min nach der ersten Injektion nicht abgeklungen sind oder wenn die Symptome nach der ersten Dosis wieder auftreten, verabreichen Sie eine zweite Dosis Adrenalin durch intramuskuläre Injektion mit einem Autoinjektor.
- Setzen Sie den Notruf ab.
- Schulen Sie Ersthelfer regelmäßig im Erkennen und der Erste-Hilfe-Behandlung der Anaphylaxie.

Behandeln einer Hypoglykämie (Unterzuckerung)

- Die Zeichen einer Hypoglykämie sind plötzliche Bewusstseinsstörungen: Schwindel, Ohnmacht, manchmal Nervosität und seltsames Verhalten (Stimmungsschwankungen, Aggression, Verwirrtheit, Konzentrationsverlust, Symptome wie bei Betrunkenen) bis hin zu Bewusstlosigkeit.
- Ein Patient mit leichter Hypoglykämie hat typischerweise weniger schwere Anzeichen oder Symptome und kann schlucken und Aufforderungen befolgen.
- Bei einem Patienten, der leichte Anzeichen oder Symptome zeigt und bei dem der Verdacht auf eine Hypoglykämie besteht, sind, wenn er bei

Bewusstsein ist und schlucken kann, folgende Maßnahmen indiziert:

- Geben Sie Glukose- oder Dextrosetabletten (15–20 g) oral.
 - Wenn keine Glukose- oder Dextrosetabletten zur Hand sind, geben Sie andere Zuckerprodukte in einer der glukoseäquivalenten Menge wie Süßigkeiten, Zuckerwürfel, Geleebonbons oder ein Glas Orangensaft.
 - Wiederholen Sie die Gabe von Zucker, wenn die Symptome weiter bestehen und sich nach 15 min nicht bessern.
 - Wenn keine orale Glukose verfügbar ist, kann ein Glukosegel gegeben werden. Dieses bleibt teilweise in den Wangen und wird teilweise geschluckt.
 - Alarmieren Sie den Rettungsdienst, wenn
 - a. der Betroffene bewusstlos ist oder wird.
 - b. der Zustand des Betroffenen sich nicht bessert.
 - Nachdem sich der Zustand des Betroffenen durch Gabe von Zucker verbessert hat, sorgen Sie dafür, dass er einen leichten Snack wie ein Sandwich oder eine Waffel zu sich nimmt.
 - Kindern, die möglicherweise unkooperativ sind und die Glukose nicht schlucken, geben Sie vielleicht einen halben Teelöffel Haushaltszucker (2,5 g) unter die Zunge.
- Messen und notieren Sie den Blutzuckerwert vor und nach der Behandlung, sofern möglich.

Orale Rehydrierungslösungen zur Behandlung von belastungsbedingter Dehydratation

- Wenn eine Person durch sportliche Anstrengung übermäßig geschwitzt hat und Anzeichen einer Dehydratation (Flüssigkeitsmangel) aufweist, wie Durst, Schwindel oder Benommenheit und/oder Mundtrockenheit oder dunkelgelben stark riechenden Urin, verabreichen Sie Rehydrationslösungen mit 3–8 % Kohlenhydrat-Elektrolyt-Gehalt (typische „Sportgetränke“) oder Magermilch.

- Wenn 3–8 % Kohlenhydrat-Elektrolyt-Getränke oder Milch nicht verfügbar sind oder nicht gut vertragen werden, kann man als alternative Getränke zur Rehydrierung 0–3 % Kohlenhydrat-Elektrolyt-Getränke, 8–12 % Kohlenhydrat-Elektrolyt-Getränke oder Wasser verwenden.
- Sauberes Wasser, richtig dosiert, ist eine akzeptable Alternative, obwohl die Rehydrierung möglicherweise länger dauert.
- Verwenden Sie keine alkoholischen Getränke.
- Alarmieren Sie den Rettungsdienst, wenn
 - die Person bewusstlos ist oder wird.
 - die Person Anzeichen eines Hitzschlags zeigt.

Management des Hitzschlags durch Kühlung

Erkennen Sie die Symptome und Indizien eines Hitzschlags (bei hoher Umgebungstemperatur):

- Erhöhte Körpertemperatur,
- Verwirrtheit,
- Erregung,
- Orientierungslosigkeit,
- Krampfanfälle,
- Koma.

Wenn die Verdachtsdiagnose eines Belastungs- oder eines klassischen Hitzschlags gestellt wird:

- Bringen Sie den Verunfallten aus der heißen Umgebung und beginnen Sie mit passiver Kühlung.
- Leiten Sie aktive Kühlung mit irgendeiner sofort verfügbaren Technik ein:
 - Wenn die Kerntemperatur > 40 °C beträgt, tauchen Sie den ganzen Körper (vom Hals abwärts) in kaltes Wasser (1–26 °C) bis die Kerntemperatur auf Werte < 39 °C fällt.
 - Wenn ein Eintauchen in Wasser nicht möglich ist, verwenden Sie alternative Kühlmethoden, z. B. Eisplatten, handelsübliche Kühlkompressen, Ventilator, kalte Dusche, Kühlhandschuhe, Kühlwesten und -jacken oder Verdunstungskühlung (Vernebeln und Ventilator).

- Messen Sie nach Möglichkeit die Körperkerntemperatur des Betroffenen (Rektaltemperaturmessung), dafür ist möglicherweise eine spezielle Schulung erforderlich.
- Belastungshyperthermie oder Hitzschlag ohne Belastung erfordern eine erweiterte medizinische Versorgung, deshalb soll erweiterte fachliche Hilfe angefordert werden.

Es ist klar, dass die Diagnose und Behandlung des Hitzschlags spezielles Training erfordert (Rektaltemperaturmessung, Eintauchen in kaltes Wasser). Aber das Erkennen der Indizien und Symptome einer erhöhten Kerntemperatur und der Einsatz aktiver Kühltechniken ist entscheidend, um Morbidität und Mortalität zu verhindern.

Verwendung von Sauerstoff beim akuten Schlaganfall

- Applizieren Sie präklinisch im Rahmen der Ersten Hilfe bei Verdacht auf einen akuten Schlaganfall nicht routinemäßig Sauerstoff.
- Sauerstoff soll appliziert werden, wenn die Person Zeichen einer Hypoxie zeigt.
- Ersthelfer müssen hinsichtlich der Gabe von Sauerstoff geschult werden.

Behandlung einer Präsynkope

- Eine Präsynkope ist gekennzeichnet durch Benommenheit, Übelkeit, Schwitzen, „Schwarzwerden vor den Augen“ und das Gefühl schwindenden Bewusstseins.
- Stellen Sie sicher, dass der Betroffene „sicher ist“, nicht fällt oder sich verletzt, wenn er das Bewusstsein verliert.
- Verwenden Sie einfache physikalische Druckmanöver, um eine Präsynkope vasovagaler oder orthostatischer Ursache zu beenden.
- Druckerhöhung im Unterleib ist effektiver als eine Druckerhöhung im Oberkörper als physikalisches Manöver.
 - Unterleib: Hocken mit oder ohne überkreuzte Beine,
 - Oberkörper: Faust ballen, Nackenbeugen.

- Ersthelfer müssen darin geschult werden, Betroffene anzuleiten, wie die Druckmanöver durchgeführt werden.

Kontrolle lebensbedrohlicher Blutungen

Direkter Druck, hämostatische Verbände, Druckpunkte und Kryotherapie (Kältebehandlung) bei lebensbedrohlichen Blutungen.

- Stoppen Sie schwere lebensbedrohliche äußere Blutungen durch direkten manuellen Druck.
- Erwägen Sie die Verwendung eines blutstillenden Verbands, wenn Sie bei schweren, lebensbedrohlichen Blutungen direkten manuellen Druck anwenden. Bringen Sie den hämostatischen Verband direkt auf die blutende Verletzung auf und drücken Sie dann auf den Verband.
- Ein Druckverband kann sinnvoll sein, wenn die Blutung kontrolliert ist, um die Hämostase aufrechtzuerhalten, soll jedoch nicht anstelle des direkten manuellen Drucks für unkontrollierte Blutungen verwendet werden.
- Die Verwendung von Druckpunkten oder Kältetherapie zur Kontrolle lebensbedrohlicher Blutungen wird nicht empfohlen.

Tourniquets bei lebensbedrohlichen Blutungen.

Bei lebensbedrohlichen Blutungen, die aus Gliedmaßenverletzungen resultieren und an einer Stelle, an der ein Tourniquet angelegt werden kann (d. h. Arm- oder Beinwunden, traumatische Amputationen), bestehen, sollen Sie folgendermaßen vorgehen:

- Erwägen Sie so früh wie möglich die Verwendung eines handelsüblichen Tourniquets:
 - Legen Sie das Tourniquet um die verletzte Extremität 5–7 cm über der Wunde, jedoch nicht über ein Gelenk.
 - Ziehen Sie das Tourniquet fest, bis die Blutung nachlässt und aufhört. Dies kann für den Betroffenen äußerst schmerzhaft sein.
 - Halten Sie den Tourniquet-Druck aufrecht.
 - Dokumentieren Sie die Zeit, zu der das Tourniquet angelegt wurde.

- Entfernen Sie das einmal angelegte Tourniquet nicht. Das Tourniquet darf nur von medizinischem Fachpersonal entfernt werden.
- Transportieren Sie den Betroffenen sofort zur weiteren medizinischen Versorgung ins Krankenhaus.
- In einigen Fällen kann es erforderlich sein, 2 Tourniquets parallel anzuwenden, um die Blutung zu verlangsamen oder zu stoppen.
- Wenn ein handelsübliches Tourniquet nicht sofort verfügbar ist oder wenn die Blutung trotz Verwendung eines handelsüblichen Tourniquets unkontrollierbar ist, benutzen Sie direkten manuellen Druck mit der behandschuhten Hand, einem Mullverband oder, falls verfügbar, einem hämostatischen Verband.
- Ziehen Sie die Verwendung eines improvisierten Tourniquets nur in Betracht, wenn ein handelsübliches Tourniquet nicht verfügbar ist, der direkte manuelle Druck (behandschuhte Hand, Mullverband oder hämostatischer Verband) eine lebensbedrohliche Blutung nicht kontrolliert und der Ersthelfer in der Verwendung improvisierter Tourniquets geschult ist.

Behandlung offener Thoraxverletzungen (Brustwunden)

- Decken Sie eine offene Thoraxverletzung nicht ab, sondern achten Sie darauf, dass sie offen zur Umgebung bleibt.
- Legen Sie keinen Verband an und decken Sie die Wunde nicht ab.
- Wenn nötig:
 - Stillen Sie lokalisierte Blutungen durch direkten Druck.
 - Wenden Sie einen speziellen, luftdurchlässigen Verband an, um einen freien Luftaustritt während der Ausatmung zu gewährleisten (Training erforderlich).

Bewegungseinschränkung und -stabilisierung der Halswirbelsäule

- Das routinemäßige Anlegen einer Zervikalstütze (Halskrause) durch Ersthelfer wird nicht empfohlen.
- Bei Verdacht auf eine Verletzung der Halswirbelsäule:

- Wenn der Betroffene wach ist und reagiert, reden Sie ihm gut zu, dass er seinen Hals in einer stabilen Position hält.
- Wenn der Betroffene bewusstlos oder unkooperativ ist, sollen Sie seinen Hals manuell immobilisieren.
 - a. Kopfklemme:
 - Halten Sie den Kopf des Verunfallten (in Rückenlage) zwischen Ihren Händen.
 - Halten Sie den Kopf mit den Daumen über den Ohren des Patienten und den anderen Fingern unter dem Ohr.
 - Decken Sie die Ohren nicht ab, damit der Betroffene Sie hören kann.
 - b. Trapezklemme:
 - Halten Sie die Trapezmuskeln des Betroffenen (in Rückenlage) mit Ihren Händen auf beiden Seiten des Kopfs (Daumen vor dem Trapezmuskel). In einfachen Worten: Halten Sie die Schultern des Betroffenen mit den Daumen oben.
 - Fixieren Sie den Kopf zwischen den Unterarmen ungefähr auf Höhe der Ohren.

Erkennung einer Gehirnerschütterung

- Obwohl ein einfaches einstufiges System zur Einordnung von Gehirnerschütterungen das Erkennen und Einweisen von Betroffenen mit Verdacht auf Kopfverletzung durch Ersthelfer erheblich erleichtern würde, gibt es derzeit kein validiertes System.
- Eine Person mit Verdacht auf Gehirnerschütterung muss von medizinischem Fachpersonal untersucht werden.

Thermische Verletzung, Verbrennungen

- Nach einer thermischen Verletzung:
- Kühlen Sie die Verbrennung sofort mit kühlem oder kaltem (nicht eisigem) Wasser.
 - Kühlen Sie die Verbrennung mindestens 20 min lang.

- Decken Sie die Wunde mit einem lockeren sterilen Verband ab oder verwenden Sie Frischhaltefolie. Wickeln Sie die Wunde nicht ein.
- Kümmern Sie sich sofort um ärztliche Versorgung.

Besondere Vorsicht ist beim Kühlen großer Verbrennungen oder bei Verbrennungen bei Säuglingen und Kleinkindern geboten, um keine Unterkühlung auszulösen.

Zahnverlust

- Wenn der Betroffene aus der Zahnalveole blutet:
 - Ziehen Sie Einweghandschuhe an, bevor Sie helfen.
 - Spülen Sie den Mund des Betroffenen mit kaltem, sauberem Wasser.
 - Kontrollieren Sie die Blutung, indem
 - a. Sie eine feuchte Kompresse gegen die offene Zahnalveole drücken und
 - b. dem Patienten sagen, er solle auf die feuchte Kompresse beißen.
 - c. Verwenden Sie keine feuchte Kompresse, wenn die Wahrscheinlichkeit groß ist, dass der Verletzte die Kompresse verschluckt (z. B. ein kleines Kind, eine aufgeregte Person oder eine Person mit Bewusstseinsstörungen).
- Wenn es nicht möglich ist, den ausgefallenen Zahn am Unfallort sofort wieder zu implantieren:
 - Bitten Sie einen Spezialisten um Hilfe bzw. bringen Sie den Verletzten und den ausgefallenen Zahn zu einem Spezialisten.
 - Fassen Sie einen ausgefallenen Zahn nur an der Krone an. Fassen Sie die Wurzel nicht an.
 - Spülen Sie einen sichtbar verschmutzten Zahn vor dem Transport maximal 10 s lang mit Kochsalzlösung oder unter fließendem Leitungswasser.
 - Transport des Zahns:
 - a. Wickeln Sie den Zahn in Frischhaltefolie oder lagern Sie ihn vorübergehend in einem kleinen Behälter mit Hanks' Balanced-salt-Lösung (HBSS), Propolis oder

- ORS-Lösung („oral rehydration salt“).
- b. Wenn keines der oben genannten Produkte verfügbar ist, lagern Sie den Zahn in Kuhmilch (jede Art, jeder Fettanteil).
- c. Verwenden Sie weder Leitungswasser noch Buttermilch oder Kochsalzlösung (Natriumchlorid).

Kompressionsverband für geschlossene Gelenkverletzungen an Extremitäten

- Wenn der Verletzte Schmerzen im Gelenk hat sowie Schwierigkeiten, das betroffene Gelenk zu bewegen, lassen Sie ihn die Gliedmaße nicht bewegen. Der Grund ist möglicherweise eine Schwellung oder ein Bluterguss.
- Es gibt keine Evidenz, ob die Verwendung eines Kompressionsverbands bei Gelenkverletzungen hilfreich ist oder nicht.
- Um eine Gelenkverletzung korrekt und effektiv mit einem Kompressionsverband zu versorgen, ist Training erforderlich.

Reposition einer Fraktur mit Fehlstellung

- Korrigieren Sie die Fehlstellungen eines Bruchs der langen Röhrenknochen nicht.
- Schützen Sie die verletzte Extremität durch Schienung der Fraktur.
- Eine Reposition von Knochenbrüchen sollen nur Ersthelfer durchführen, die speziell in dieser Technik ausgebildet sind.

Augenverletzung durch Chemikalien

- Bei Augenverletzungen durch Chemikalien:
- Spülen Sie das kontaminierte Auge sofort kontinuierlich mit großen Mengen sauberem Wasser oder normaler Kochsalzlösung ca. 10–20 min lang.
 - Achten Sie darauf, das nichtbetroffene Auge nicht zu kontaminieren.
 - Bringen Sie den Verletzten in eine Notaufnahme.
 - Es ist ratsam, bei der Behandlung von Augenverletzungen mit unbekanntem chemischen Substanzen Handschuhe

NLS 2021

5 KERNAUSSAGEN



1. Ein verzögertes Abnabeln kann den klinischen Zustand – besonders bei Frühgeborenen – verbessern.

2. Wärmen, Trocknen und Stimulieren
Einem effektiven Wärmemanagement kommt eine entscheidende Bedeutung zu.

3. Beurteilung der Atmung und Herzfrequenz
Eine schnelle Herzfrequenz zeigt eine gute Oxygenierung an.

4. Die meisten Neugeborenen benötigen nur einfache Maßnahmen zum Öffnen der Atemwege und zum Unterstützen der Atmung.

5. Thoraxkompressionen können erst effektiv sein, wenn die Lunge geöffnet und suffizient beatmet wurde.

Abb. 13 ▲ NLS-Infografik

zu tragen und diese nach Abschluss der Behandlung sorgfältig zu versorgen.

Versorgung und Reanimation des Neugeborenen

Der ERC hat diese Leitlinien zur Lebenserhaltung von Neugeborenen erstellt, die auf dem International Liaison Committee on Resuscitation Consensus on Science and Treatment Recommendations für die Reanimationsmaßnahmen bei Neugeborenen basieren. Die Leitlinien umfassen die Versorgung des Neugeborenen am

Termin und des Frühgeborenen. Sie umfassen den aktualisierten Algorithmus zur Reanimation des Neugeborenen, die Vorbereitungen vor der Versorgung eines Neugeborenen, Training und Ausbildung, Wärmemanagement, Empfehlungen zum Abnabeln, die initiale Beurteilung und Einschätzung des Neugeborenen, das Atemwegsmanagement, inklusive Notfallbeatmung, und die Kreislaufunterstützung, die Kommunikation mit den Eltern und ethische Überlegungen, in welchen Situationen erwogen werden soll, auf Reanimationsmaßnahmen zu verzichten bzw.

Reanimationsmaßnahmen nicht fortzuführen.

Die wesentlichen Änderungen in diesen Leitlinien betreffen die Empfehlungen zum Abnabeln, die anfängliche Belüftung der Lunge und die assistierte Beatmung, Säuglinge, die aus mekoniumgefärbtem Fruchtwasser geboren werden, Luft oder Sauerstoff zur Wiederbelebung des Frühgeborenen, Verwendung der Larynxmaske, Sauerstoffgabe während der Thoraxkompression, Gefäßzugang, Adrenalin und Glukose im Verlauf der Reanimation und die Prognosestellung.

Die Kernaussagen dieses Abschnitts sind in [Abb. 13](#) dargestellt, der NLS-Algorithmus als [Abb. 14](#).

Pränatale Faktoren

Anpassen an das Leben nach der Geburt. Der Übergang vom intra- zum extrauterinen Leben erfolgt für die meisten Neugeborenen problemlos. Einige Neugeborene benötigen allerdings unterstützende, stabilisierende Maßnahmen während oder nach der Geburt, bei nur sehr wenigen müssen tatsächlich Reanimationsmaßnahmen durchgeführt werden. Bis zu 85 % aller Neugeborenen atmen nach der Geburt spontan, ohne dabei unterstützt werden zu müssen, bei weiteren 10 % setzt eine Spontanatmung unter Trocknen und taktile Stimulation ein. Etwa 5 % aller Neugeborenen müssen initial beatmet werden. Die Intubationsraten nach der Geburt variieren zwischen 0,4 und 2 %. Weniger als 0,3 % der Neugeborenen benötigen Thoraxkompressionen und nur 0,05 % eine Adrenalingabe.

Risikofaktoren. Zahlreiche Risikofaktoren können die Wahrscheinlichkeit der Notwendigkeit von stabilisierenden Maßnahmen nach der Geburt erhöhen.

Personal, das bei der Geburt anwesend ist. Jedes Neugeborene kann, auch überraschend, nach der Geburt unterstützende Maßnahmen benötigen. Daher sind lokale Leitlinien erforderlich, die, basierend auf aktueller Praxis und klinischer Qualitätsprüfung, unter Berücksichtigung von Risikofaktoren, für jede Geburt festlegen, welches Personal grundsätzlich

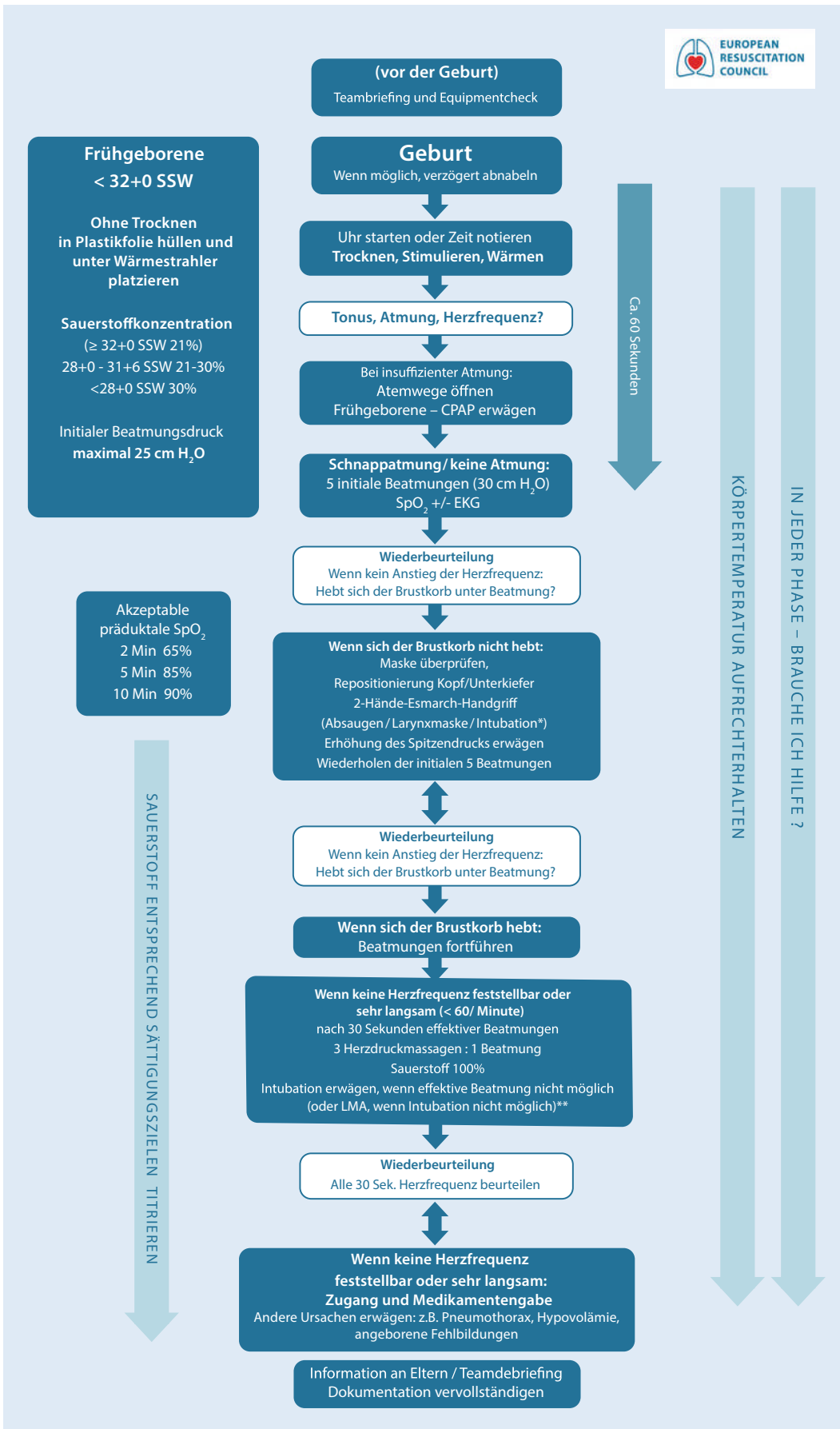


Abb. 14 ◀ NLS-Algorithmus* Werden alle beschriebenen Maßnahmen zur Optimierung der Beatmung (Erhöhung des Spitzendrucks, 2-Hände-Esmarch-Handgriff, Guedel-Tubus, evtl. LMA) konsequent ausgeschöpft, ist eine Intubation zu diesem Zeitpunkt nur in sehr seltenen Fällen notwendig. (Anmerkung der AutorInnen der deutschen Fassung), ** Wenn sich der Brustkorb unter Beatmung zwischen den Thoraxkompressionen hebt, muss sehr gut abgewogen werden, ob eine Intubation zu diesem Zeitpunkt tatsächlich einen Vorteil bedeutet. (Anmerkung der AutorInnen der deutschen Fassung, detaillierte Erläuterungen finden sich im Guidelines-Text)

lich anwesend sein soll. Als Leitfaden kann gelten:

- Für jede Entbindung soll in der Reanimation von Neugeborenen trainiertes Personal anwesend sein.
- Sind unterstützende Maßnahmen für das Neugeborene notwendig, soll Personal zur Verfügung stehen, das ausschließlich für die Versorgung des Neugeborenen zuständig ist.
- Jede geburtshilfliche Abteilung soll über ein Notfallprotokoll verfügen, das Alarmierungsstrukturen klar regelt und eine schnelle Verfügbarkeit von in Neugeborenenreanimation ausgebildetem und trainiertem Personal zu jeder Zeit gewährleistet.

Ausrüstung und Umfeld.

- Material und Geräte müssen regelmäßig überprüft und einsatzbereit sein.
- Wann immer möglich, sollen die Umgebung und das notwendige Material noch vor der Entbindung des Kindes vorbereitet werden. Checklisten können eine effektive Vorbereitung erleichtern.
- Die Versorgung eines Neugeborenen soll in einer warmen, gut beleuchteten, zugluftfreien Umgebung stattfinden. Das Neugeborene soll (wenn verfügbar) unter einem Heizstrahler auf eine gerade und glatte Fläche gelegt werden.
- Sämtliches zur Reanimation notwendige Material (insbesondere Equipment zur Beatmung und Monitoring) muss leicht verfügbar sein.
- Zusätzliches Material und Geräte, die bei längeren Reanimationsmaßnahmen erforderlich sein könnten, sollen leicht zugänglich sein.

Geplante Hausgeburten.

- Hausgeburten sollen idealerweise immer von zwei in Geburtshilfe erfahrenen und ausgebildeten Personen durchgeführt werden.
- Mindestens eine der beiden Personen muss in der Durchführung von Maskenbeatmung und Thoraxkompressionen bei Neugeborenen trainiert und erfahren sein.
- Von Land zu Land finden sich unterschiedliche Empfehlungen, wer bei

einer geplanten Hausgeburt anwesend sein soll. Ist die Entscheidung für eine geplante Hausgeburt in Abstimmung mit dem ärztlichen Team und der Hebamme gefallen, gelten jedoch grundsätzlich auch im häuslichen Umfeld die Standards der Neugeborenenversorgung bezüglich initialer Beurteilung des Neugeborenen, stabilisierender Maßnahmen und einer mitunter notwendigen Reanimation.

- Bereits bei der Planung einer Hausgeburt müssen die werdenden Eltern darüber aufgeklärt werden, dass aufgrund der schwierigen Verfügbarkeit weiterer Hilfe und erweiterten Notfallaquipments eine Reanimation in häuslicher Umgebung zwangsläufig nicht im gleichen Umfang wie im klinischen Setting durchgeführt werden kann.
- Findet eine Geburt außerhalb der üblichen klinischen Entbindungsbereiche statt, soll als Mindestausstattung für die Versorgung des Neugeborenen folgendes Equipment zur Verfügung stehen:
 - saubere Handschuhe für das versorgende Team,
 - gewärmte, trockene Tücher und Laken, um das Neugeborene warm zu halten,
 - ein Stethoskop zur Überprüfung der Herzfrequenz,
 - ein Hilfsmittel zur sicheren, assistierten Beatmung (z. B. ein Beatmungsbeutel) mit einer Beatmungsmaske in der passenden Größe,
 - sterile Instrumente zum Klemmen und später sicheren Durchtrennen der Nabelschnur.
- Da unerwartete Geburten außerhalb des klinischen Umfelds vor allem das Personal des Rettungsdiensts betreffen, soll dieses grundsätzlich auf die Versorgung von Neugeborenen vorbereitet und trainiert sein.
- Personen, die geplante Hausgeburten durchführen, sollen vorbereitete Notfallpläne für schwierige Situationen haben.

Briefing.

- Wann immer möglich, soll vor jeder Geburt ein Teambriefing durchgeführt werden. Dies dient dazu, Zuständigkeiten zu klären, das notwendige Material zu überprüfen und möglicherweise vorhersehbare Maßnahmen zur Versorgung des Neugeborenen bereits im Vorfeld zu planen.
- Die Rollen und Zuständigkeiten im Team sollen eindeutig verteilt werden. Checklisten sind hier hilfreich.
- Sind Reanimationsmaßnahmen vorauszusehen, sollen auch die Eltern auf eine möglicherweise notwendige Reanimation vorbereitet werden.

Training/Ausbildung

- Alle mit der Versorgung und Reanimation von Neugeborenen betrauten Personen müssen die aktuellen Versorgungsstrategien zur Stabilisierung und Reanimation von Neu- und Frühgeborenen kennen und über die notwendigen technischen Fertigkeiten und nichttechnischen Fähigkeiten für die Versorgung von kritisch kranken Neugeborenen verfügen.
- Krankenhäuser und geburtshilfliche Abteilungen, die Geburten durchführen, müssen über strukturierte Ausbildungs- und Trainingsprogramme verfügen, die es Mitarbeitern ermöglichen, die für die Versorgung und Reanimation von Neugeborenen erforderlichen Kenntnisse zu erlangen und die notwendigen Fertigkeiten regelmäßig zu trainieren.
- Der Inhalt und die Organisation solcher Ausbildungs- und Trainingsprogramme können je nach den Bedürfnissen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und der Klinik variieren.
- Zu den empfohlenen Inhalten solcher Ausbildungs- und Trainingsprogramme gehören:
 - Regelmäßige Praxis und Training.
 - Team- und Leadership-Training.
 - Multimodale Ansätze.
 - Simulationsbasiertes Teamtraining.
 - Direktes und unmittelbares Feedback bezüglich der technischen Fertigkeiten (z. B. durch Trainer oder Reanimationsgeräte mit Feedbackfunktion).

- Zielgerichtete, konstruktive Nachbesprechungen (Debriefings) zur generellen Verbesserung der Teamperformance.
- Idealerweise soll das Training häufiger als einmal pro Jahr wiederholt werden.
 - Auffrischungsveranstaltungen können bestimmte technische Fertigkeiten, nichttechnische Fähigkeiten und Feedback umfassen.

Wärmemanagement

- Die Körpertemperatur des Neugeborenen soll nach der Geburt regelmäßig beurteilt werden. Die Temperatur bei Aufnahme ist sowohl ein Prädiktor für das Outcome als auch ein Qualitätsindikator der Versorgung und soll immer dokumentiert werden.
- Die Temperatur von Neugeborenen soll zwischen 36,5 und 37,5 °C gehalten werden.
- Sowohl Hypothermie ($\leq 36,0$ °C) als auch Hyperthermie ($> 38,0$ °C) sollen während der Versorgung von Neugeborenen vermieden werden. Eine therapeutische Hypothermie kann nach einer erfolgreichen Reanimation in Betracht gezogen werden (siehe weitere Versorgung nach erfolgreicher Reanimation).

Umfeld.

- Schützen Sie das Kind vor Zugluft. Stellen Sie sicher, dass die Fenster geschlossen sind und die Klimaanlage adäquat eingestellt wurde.
- Der Raum, in dem das Neugeborene versorgt wird (Kreißsaal oder OP), soll eine Temperatur zwischen 23 und 25 °C haben.
- Für die Versorgung von Frühgeborenen $\leq 28 + 0$ Schwangerschaftswochen soll die entsprechende Raumtemperatur bei > 25 °C liegen.

Reifgeborene und Frühgeborene > 32 Schwangerschaftswochen.

- Trocknen Sie das Kind sofort nach der Geburt sorgfältig ab. Um weiteren Wärmeverlust zu vermeiden, werden Kopf und Körper des Neugeborenen, unter Aussparung des Gesichts, mit

einem warmen, trockenen Tuch bedeckt.

- Wenn keine Wiederbelebensmaßnahmen erforderlich sind, kann das nackte Neugeborene der Mutter auf die Brust gelegt werden, und beide werden mit einem Tuch oder einer Decke zugedeckt. Eine kontinuierliche sorgfältige Beobachtung von Kind und Mutter ist insbesondere bei Frühgeborenen und wachstumsretardierten Neugeborenen erforderlich, um sicherzustellen, dass beide nicht auskühlen und eine normale Körpertemperatur halten.
- Benötigt das Neugeborene unterstützende Maßnahmen oder ist eine Reanimation notwendig, wird das Neugeborene zur weiteren Versorgung unter einem vorgewärmten Heizstrahler auf einer warmen, ebenen Fläche platziert.

Frühgeborene ≤ 32 Schwangerschaftswochen.

- Frühgeborene vor $32 + 0$ Schwangerschaftswochen sollen unter Aussparung des Gesichts komplett in eine durchsichtige Plastikfolie gehüllt werden. Dabei wird das Kind vorher nicht abgetrocknet und so eingehüllt unter einem Wärmestrahler platziert.
- Soll das Neugeborene verzögert abgenabelt werden und es ist zu diesem Zeitpunkt kein Heizstrahler verfügbar, sind andere wärmende Maßnahmen (wie unten aufgeführt) erforderlich, um das Neugeborene, während es noch mit der Plazenta verbunden ist, vor Auskühlung zu schützen.
- Bei Frühgeborenen vor $32 + 0$ Schwangerschaftswochen kann eine Kombination aus mehreren Maßnahmen für ein effektives Wärmemanagement, wie z. B. eine generelle Erhöhung der Raumtemperatur, zusätzliche warme Tücher und eine vorgewärmte Mütze sowie eine Wärmematte, notwendig sein.
- Ein direkter Hautkontakt mit der Mutter nach der Geburt ist auch bei weniger reifen Neugeborenen möglich, allerdings ist bei Frühgeborenen

oder wachstumsretardierten Neugeborenen besondere Sorgfalt geboten, um eine Unterkühlung in jedem Fall zu vermeiden.

- Bei Neugeborenen, die eine Atemunterstützung benötigen, soll die Verwendung von erwärmtem und befeuchtetem Atemgas in Betracht gezogen werden.
- Es hat sich gezeigt, dass die Etablierung eines Programms zur Qualitätsverbesserung, das die Verwendung von Checklisten und ein kontinuierliches Feedback an das Team umfasst, die Unterkühlung zum Zeitpunkt der Aufnahme bei Frühgeborenen signifikant reduziert.

Geburt außerhalb des Krankenhauses.

- Neugeborene, die unerwartet außerhalb der üblichen klinischen Entbindungsbereiche geboren werden, haben ein höheres Risiko für Unterkühlung. Dies kann mit einem schlechteren Outcome verbunden sein.
- Für Neugeborene, die außerhalb der üblichen Entbindungsbereiche geboren werden, ist es möglicherweise sinnvoll, sie nach dem Trocknen zunächst in eine Plastikfolie zu hüllen und diese dann mit Stoffwindeln zu umwickeln. Alternativ können gesunde Neugeborene ab 30 Schwangerschaftswochen nach dem Trocknen zugedeckt der Mutter (vorausgesetzt, dass diese selbst normotherm ist) nackt auf die Brust gelegt werden, um während des Transports die Temperatur zu halten. Neugeborene sollen zugedeckt und vor Zugluft geschützt sorgfältig überwacht werden, um eine Unterkühlung zu vermeiden und sicherzustellen, dass Atemwege und Atmung nicht beeinträchtigt sind.

Abnabeln

- Unbeeinträchtigte Neugeborene, die keine Reanimationsmaßnahmen benötigen, sollen verzögert, frühestens nach 1 min, abgenabelt werden. In diesen Fällen kann es darüber hinaus vorteilhaft sein, noch länger mit dem Abnabeln zu warten.

- Das Abnabeln soll idealerweise erst nach der Belüftung der Lunge erfolgen.
- Unter Umständen können die ersten unterstützenden Maßnahmen nach der Geburt noch bei intakter Nabelschnur vorgenommen werden, sofern sie sicher und effektiv durchführbar sind und ein effektives Wärmemanagement gewährleistet ist.
- Wenn ein verzögertes Abnabeln nicht möglich ist, kann das Ausstreifen der Nabelschnur bei Neugeborenen ab 28 + 0 Schwangerschaftswochen in Betracht gezogen werden.
- Vor der Geburt sollen mit den Eltern die möglichen Vorgehensweisen beim Abnabeln und die zugrunde liegenden Überlegungen diesbezüglich besprochen werden.

Initiale Beurteilung

Die initiale Beurteilung des Neugeborenen nach der Geburt kann bereits vor dem Abnabeln erfolgen (normalerweise in folgender Reihenfolge):

- Muskeltonus (und Hautkolorit),
- Qualität der Spontanatmung,
- Herzfrequenz.

Ergreifen Sie geeignete Maßnahmen, um das Baby während dieser ersten Schritte warm zu halten.

Die simultane Erfassung der oben genannten Parameter dient dazu, den Ausgangszustand zu beurteilen, die Notwendigkeit unterstützender Maßnahmen bzw. einer Reanimationspflichtigkeit einzuschätzen und damit auch den optimalen Abnabelungszeitpunkt zu bestimmen. Häufige Kontrollen von Herzfrequenz und Atmung zeigen, ob der Säugling eine physiologische Anpassung vollzieht oder ob weitere Interventionen erforderlich sind.

Taktile Stimulation. Bereits die ersten Maßnahmen während der Beurteilung können genutzt werden, um das Neugeborene zu stimulieren und damit das Einsetzen einer Spontanatmung zu fördern:

- Trocknen Sie das Neugeborene ab.
- Stimulieren Sie es dabei sanft, indem Sie z. B. über die Fußsohlen streichen oder über den Rücken reiben.

Vermeiden Sie unbedingt eine zu aggressive Stimulation.

Muskeltonus und Hautkolorit.

- Ein deutlich hypotones Neugeborenes benötigt wahrscheinlich unterstützende Beatmungen.
- Das Hautkolorit ist nur sehr schlecht zur Beurteilung der Sauerstoffsättigung geeignet. Eine Zyanose kann grundsätzlich schwer zu erkennen sein. Eine ausgeprägte Blässe kann auf einen Schock hinweisen, seltener auf einen Blutverlust und eine Hypovolämie. Besteht der Verdacht auf einen Blutverlust, müssen umgehend Maßnahmen diesbezüglich geplant und unternommen werden.

Atmung.

- Atmet das Neugeborene? – Beurteilen Sie die Atemfrequenz, die Atemarbeit/Anstrengungen bzw. Atemtiefe und achten Sie auf symmetrische Bewegungen des Brustkorbs, um die Spontanatmung zu bewerten als
 - suffizient,
 - insuffizient/pathologische Atemmuster – wie Schnappatmung oder Stöhnen,
 - fehlend.

Herzfrequenz.

- Bestimmen Sie die Herzfrequenz mit einem Stethoskop und einem Sättigungsmonitor ± EKG (für das spätere kontinuierliche Monitoring).
 - Schnell ($\geq 100/\text{min}$) – normal
 - Langsam ($60\text{--}100/\text{min}$) – mögliche Hypoxie
 - Sehr langsam/nicht vorhanden ($< 60/\text{min}$) – kritisch, Hypoxie wahrscheinlich

Wenn das Neugeborene nach der initialen Beurteilung und unter taktilem Stimulation keine suffiziente Spontanatmung zeigt und/oder die Herzfrequenz nicht ansteigt (und/oder nach anfänglichem Anstieg wieder sinkt), muss mit einer Atemunterstützung begonnen werden.

Einteilung von Neugeborenen nach der initialen klinischen Beurteilung. Anhand der initialen klinischen Beurteilung

lassen sich Neugeborene in drei Gruppen einteilen:

1. Beispiel:

- Klinischer Befund:
 - guter Muskeltonus,
 - suffiziente Atmung/kräftiges Schreien,
 - Herzfrequenz $\geq 100/\text{min}$.
- Beurteilung:
 - Zufriedenstellende Anpassung. Die Atmung muss nicht unterstützt werden.
 - Die Herzfrequenz ist zufriedenstellend.
- Maßnahmen:
 - Verzögertes Abnabeln.
 - Abtrocknen, in warme Tücher wickeln.
 - Das Neugeborene verbleibt bei der Mutter und kann ihr auf die Brust gelegt werden. Es wird darauf geachtet, dass beide nicht auskühlen.
 - Bei stabilen Neugeborenen ist ein früher Hautkontakt auf der Brust der Mutter grundsätzlich anzustreben.

2. Beispiel:

- Klinischer Befund:
 - reduzierter Muskeltonus,
 - insuffiziente Spontanatmung (oder Apnoe),
 - Herzfrequenz $< 100/\text{min}$.
- Beurteilung:
 - Beeinträchtigte Anpassung: Die Atmung muss unterstützt werden, die langsame Herzfrequenz kann auf eine Hypoxie hinweisen.
 - Verzögern Sie das Abnabeln nur, wenn das Neugeborene trotzdem effektiv versorgt werden kann.
 - Trocknen und stimulieren Sie das Neugeborene und wickeln Sie es in ein warmes Tuch.
 - Öffnen Sie die Atemwege
 - Belüften Sie die Lunge und beatmen Sie das Neugeborene.
 - Beurteilen Sie regelmäßig Veränderungen der Herzfrequenz und Atmung sowie die Effektivität Ihrer Beatmung.
 - Wenn die Herzfrequenz nicht steigt, fahren Sie mit der Beatmung fort.

- Möglicherweise ist weitere Hilfe erforderlich.

3. Beispiel:

- Klinischer Befund:
 - schlaffer Muskeltonus („floppy“) und/oder Blässe,
 - insuffiziente Spontanatmung oder Apnoe,
 - Herzfrequenz < 60/min oder nicht nachweisbar.
- Beurteilung:
 - Schwer beeinträchtigte bzw. nicht erfolgte Anpassung – die Atmung muss umgehend unterstützt werden, die Herzfrequenz deutet auf eine schwere Hypoxie hin.
- Maßnahmen:
 - Sofort abnabeln und zur Weiterversorgung auf eine Reanimationseinheit legen. Verzögern Sie das Abnabeln auch hier nur, wenn Sie das Kind trotzdem effektiv versorgen bzw. reanimieren können.
 - Trocknen und stimulieren Sie das Neugeborene und wickeln Sie es in ein warmes Tuch.
 - Öffnen Sie die Atemwege.
 - Belüften Sie die Lunge und beatmen Sie das Neugeborene.
 - Beurteilen Sie regelmäßig die Herzfrequenz und Atmung sowie die Effektivität Ihrer Beatmung.
 - Fahren Sie mit den im Algorithmus zur Neugeborenenreanimation beschriebenen weiteren Reanimationsmaßnahmen in Abhängigkeit vom klinischen Zustand des Kindes fort.
 - Sehr wahrscheinlich wird zusätzliche Hilfe benötigt.

Frühgeborene.

- Für die Reanimation von Neugeborenen gelten die gleichen oben beschriebenen Prinzipien.
- Erwägen Sie alternative/ergänzende Maßnahmen zum Wärmeerhalt, z. B. die Verwendung einer Polyethylenfolie.
- Wenn das Frühgeborene spontan atmet, unterstützen Sie die Atmung mittels CPAP.
- Erwägen Sie ein kontinuierliches Monitoring (Pulsoxymetrie ± EKG)

anstatt einer intermittierenden klinischen Beurteilung.

Die Reanimation des Neugeborenen: Newborn Life Support

Setzen Sie nach der initialen Beurteilung und den ersten Maßnahmen zur Atemunterstützung die Beatmung fort, wenn

- das Neugeborene keine suffiziente und regelmäßige Spontanatmung entwickelt oder
- die Herzfrequenz weiter unter 100/min liegt.

Bei den meisten Neugeborenen ist nach dem Öffnen der Atemwege lediglich eine kurze Maskenbeatmung notwendig, damit sich das Neugeborene erholt und eine suffiziente Spontanatmung einsetzt. Alle weiteren Maßnahmen werden jedoch erfolglos bleiben, wenn diese ersten beiden Schritte, das Öffnen der Atemwege und die Belüftung der Lunge, nicht erfolgreich durchgeführt wurden.

Atemwege

Beginnen Sie mit Reanimationsmaßnahmen, wenn die initiale Beurteilung zeigt, dass das Neugeborene keine suffiziente Spontanatmung hat oder die Herzfrequenz < 100/min liegt.

Es ist essenziell, den Atemweg zu öffnen und offen zu halten, um die postnatale Anpassung und Spontanatmung zu erreichen, damit weitere Wiederbelebungsmaßnahmen wirksam sein können.

Techniken zum Öffnen der Atemwege.

- Lagern Sie das Neugeborene in Rückenlage mit dem Kopf in Neutralposition.
- Um die Atemwege eines hypotonen Neugeborenen zu öffnen bzw. offen zu halten und die Leckage unter Maskenbeatmung zu verringern, ist das Vorziehen des Unterkiefers (Esmarch-Handgriff) die entscheidende Maßnahme. Die Durchführung des Esmarch-Handgriffs mit zwei Händen ermöglicht dabei ein noch besseres Vorziehen des Unterkiefers und eine noch effektivere Maskenbeatmung. Für die manuelle Beatmung

wird dann allerdings eine zweite Person benötigt.

- Die Verwendung eines Guedel-Tubus (oropharyngeale Atemwegshilfe) kann bei reifen Neugeborenen hilfreich sein, wenn die Beatmung Schwierigkeiten bereitet oder die oberen Atemwege anatomisch verlegt sind, z. B. bei Patienten mit einer ausgeprägten Mikrognathie. Bei Frühgeborenen ≤ 34 + 0 Schwangerschaftswochen sollen Guedel-Tuben nur mit Vorsicht verwendet werden, da sie selbst eine Atemwegsobstruktion hervorrufen oder verstärken können.
- Ein Wendl-Tubus (nasopharyngeale Atemwegshilfe) kann ebenfalls in Betracht gezogen werden, wenn Schwierigkeiten beim Offenhalten der Atemwege oder der Maskenbeatmung bestehen.

Verlegung der Atemwege.

- Eine Obstruktion der oberen Atemwege kann ihre Ursache, insbesondere bei Frühgeborenen, in einer falschen Kopfposition, einem generell verminderten Atemwegstonus und/oder einer Engstellung des Larynx haben.
- Echte mechanische Hindernisse sind selten. Ein Absaugen der oberen Atemwege ist nur erforderlich, wenn – nach Ausschluss aller anderen Ursachen für eine insuffiziente Beatmung – unter direkter Sicht Schleim, Käseschmiere, Mekonium oder Blutgerinnsel als die Ursache der Atemwegsobstruktion im Pharynx identifiziert werden können.
- Das Absaugen des Pharynx soll dann unter direkter Sicht, idealerweise mit einem Laryngoskop und einem großlumigen Katheter erfolgen.

Mekonium.

- Sind Neugeborene, die aus mekoniumgefärbtem Fruchtwasser entbunden werden, nicht vital, werden sie vermutlich erweiterte Reanimationsmaßnahmen benötigen, sodass ein Reanimationsteam für Neugeborene erforderlich ist.
- Das routinemäßige Absaugen der Atemwege in dieser Situation verzö-

gert wahrscheinlich nur den Beginn der Beatmung und wird nicht empfohlen. In Ermangelung einer Evidenz für einen Nutzen des Absaugens muss der Fokus darauf liegen, die Beatmung bei apnoischen oder nicht suffizient atmenden Säuglingen, die aus mekoniumhaltigem Fruchtwasser geboren wurden, so schnell wie möglich zu beginnen.

- Sollte sich der Brustkorb unter der Beatmung nicht heben, muss jetzt eine Obstruktion der Atemwege mit Mekonium als Ursache ausgeschlossen werden. In diesem Fall sind Inspektion und Absaugung unter direkter Sicht zu erwägen. In seltenen Fällen kann ein Säugling eine endotracheale Intubation und -absaugung benötigen, um die Atemwegsobstruktion zu beheben.

Initiale Beatmungshübe und assistierte Beatmung Belüftung der Lunge.

- Bei apnoischen oder nicht suffizient atmenden Neugeborenen soll so schnell wie möglich, idealerweise innerhalb der ersten 60 s nach der Geburt, mit einer Maskenbeatmung begonnen werden.
- Verwenden Sie eine Beatmungshilfe, die eine Überdruckbeatmung ermöglicht, zusammen mit einer Maske passender Größe mit guter Passform.
- Geben Sie fünf initiale Beatmungshübe mit einer verlängerten Inspirationszeit von 2 bis 3 s.
- Starten Sie bei reifen Neugeborenen mit einem Spitzendruck von 30 cm H₂O und beginnen Sie mit 21 % Sauerstoff (Raumluft). Für Frühgeborene vor 32 + 0 Schwangerschaftswochen soll der anfängliche Spitzendruck auf 25 cm H₂O reduziert werden und die Beatmung mit 21–30 % Sauerstoff begonnen werden (siehe auch „Raumluft bzw. Sauerstoff“).

Beurteilung.

- Überprüfen Sie die Herzfrequenz:
 - Ein rascher Anstieg der Herzfrequenz (innerhalb von 30 s) oder eine stabil-hohe Herzfrequenz sind der beste Hinweis für eine erfolg-

reiche Belüftung der Lungen und Oxygenierung.

- Eine langsame oder sehr langsame Herzfrequenz deutet normalerweise auf eine anhaltende Hypoxie hin und hat ihre Ursache zumeist in einer ineffektiven Beatmung.
- Überprüfen Sie die Thoraxbewegung:
 - Eine sichtbare passive Thoraxexkursion unter Beatmung deutet auf einen freien Atemweg und ein adäquates Tidalvolumen hin.
 - Wenn sich der Thorax nicht hebt, kann dies auf eine Obstruktion der Atemwege oder einen unzureichenden Spitzendruck und ein inadäquates Tidalvolumen zur Belüftung der Lunge hinweisen.

Brustkorb hebt sich unter Beatmung.

Wenn sich der Brustkorb hebt und die Herzfrequenz unter Beatmung ansteigt:

- Setzen Sie die kontinuierliche Beatmung fort, bis das Neugeborene eine suffiziente Spontanatmung zeigt und die Herzfrequenz über 100/min liegt.
- Beatmen Sie idealerweise mit einer Frequenz von 30 Beatmungen/min mit einer Inspirationszeit von weniger als einer Sekunde.
- Reduzieren Sie den Spitzendruck im Verlauf, wenn sich der Thorax ausreichend hebt.
- Überprüfen Sie die Herzfrequenz und die Atmung mindestens alle 30 s.
- Erwägen Sie eine Atemwegssicherung (Larynxmaske/Tubus), wenn die Apnoe anhält oder wenn die Maskenbeatmung nicht effektiv ist.

Brustkorb hebt sich unter Beatmung nicht.

Kommt es zu **keinem** Anstieg der Herzfrequenz und der Thorax hebt sich nicht unter Beatmung:

- Prüfen Sie, ob das Equipment ordnungsgemäß funktioniert.
- Optimieren Sie die Kopfposition und das Vorziehen des Unterkiefers (Esmarch-Handgriff).
- Überprüfen Sie die Größe, Positionierung und Dichtigkeit der Beatmungsmaske.
- Erwägen Sie, allmählich den Beatmungsdruck zu erhöhen.
- Erwägen Sie alternative Atemwegs- und Beatmungstechniken:

- 2-Helfer-Esmarch-Handgriff.
- Inspektion des Mund-Rachen-Raums und ggf. Absaugen unter Sicht, um eine mechanische Atemwegsobstruktion zu beseitigen.
- Sicherung der Atemwege durch endotracheale Intubation oder Einführen einer Larynxmaske.
- Verwendung eines Guedel- (oder Wendel-)Tubus oder einer Larynxmaske.

- Ist Beatmungsmonitoring vorhanden, prüfen Sie, ob das ausgeatmete Tidalvolumen (VT) nicht zu niedrig oder zu hoch ist (Zielbereich 5 bis 8 ml/kgKG).

Dann:

- Wiederholen Sie die 5 Beatmungen mit verlängerter Inspirationszeit von 2 bis 3 s.
- Beurteilen Sie kontinuierlich die Herzfrequenz und die Thoraxbewegungen.

Wird tatsächlich eine endotracheale Intubation oder die Verwendung einer Larynxmaske in Erwägung gezogen, muss dies durch in der erweiterten Atemwegsicherung erfahrene Personal mit für diese Patientengruppe geeignetem Material erfolgen. Andernfalls fahren Sie mit der Maskenbeatmung fort und fordern weitere Hilfe an.

Ohne eine effektive Belüftung der Lunge werden Thoraxkompressionen unwirksam sein. Kommt es daher zu keinem Anstieg der Herzfrequenz unter Beatmung, muss unbedingt zunächst die Effektivität der Beatmungen anhand suffizienter Thoraxbewegungen oder anderer Parameter, die eine effektive Beatmung anzeigen (z. B. mittels Atemfunktionsmonitoring), sichergestellt werden, bevor zu Thoraxkompressionen übergegangen werden darf.

Atemwegshilfen, Beatmungsunterstützung, PEEP und CPAP

„Continuous positive airway pressure“ (CPAP) und „positive endexpiratory pressure“ (PEEP).

- Bei spontan atmenden Frühgeborenen soll zunächst eine Atemunterstützung mittels CPAP nach der

Geburt, entweder über eine Maske oder nasale Prongs, erwogen werden.

- Müssen Frühgeborene tatsächlich beatmet werden („positive pressure ventilation“, PPV), soll dies mit einem Gerät erfolgen, dass eine konstante und kontinuierliche PEEP-Applikation von mindestens 5–6 cm H₂O unter Beatmung erlaubt.

Assistierte Beatmung.

- Sie müssen eine Maske geeigneter Größe verwenden, damit die Abdichtung zwischen Maske und Gesicht gut ist.
- Verwenden Sie, vor allem bei Frühgeborenen idealerweise ein Flow-basiertes T-Stück-System, das CPAP oder PPV mit PEEP zulässt, wenn Sie die Beatmung unterstützen.
- Nasale Prongs geeigneter Größe können eine brauchbare CPAP-Alternative zu Masken sein.
- Wird ein selbstfüllender Beutel verwendet, soll er ausreichend groß sein, um ein angemessenes Tidalvolumen zu erreichen. Achten Sie darauf, kein übermäßiges Tidalvolumen zu verwenden. Der selbstfüllende Beutel erlaubt keine effektive CPAP-Beatmung.

Larynxmaske.

- Erwägen Sie die Verwendung einer Larynxmaske:
 - Bei Neugeborenen ab 34 + 0 Schwangerschaftswochen (entspricht etwa 2000 g – Larynxmasken wurden allerdings auch bei Frühgeborenen ab 1500 g erfolgreich eingesetzt).
 - Wenn eine Beutel-Maske-Beatmung nicht suffizient gelingt.
 - Wenn eine Intubation aufgrund angeborener Anomalien, mangelnder Ausrüstung oder mangelnder Fähigkeiten nicht möglich ist oder eine erfolgreiche Intubation unter den gegebenen Bedingungen als zu unsicher beurteilt wird.
 - Als Alternative zu einer trachealen Intubation.

Endotrachealtubus.

- Eine tracheale Intubation kann in mehreren Phasen während der

Reanimation eines Neugeborenen in Betracht gezogen werden:

- Wenn alle Manöver zur Optimierung einer Maskenbeatmung (wie oben beschrieben) nicht erfolgreich sind.
- Bei längerer Beatmung, um den Atemweg zu sichern.
- Wenn ein Absaugen der unteren Atemwege notwendig erscheint, um eine vermutete Obstruktion der Trachea zu beseitigen.
- Unter länger andauernden Reanimationsmaßnahmen.
- Unter besonderen Umständen (z. B. bei einer angeborenen Zwerchfellhernie oder zur Surfactant-Gabe).
- Um eine tracheale Tubuslage zu überprüfen, soll eine endtidale CO₂-Messung verwendet werden.
- Tuben unterschiedlicher Größe sollen immer verfügbar sein. Die ideale Tubusgröße ermöglicht eine suffiziente Belüftung bei möglichst geringer Leckage und geringstem Trauma der Atemwege.
- Die Verwendung eines Atemfunktionsmonitorings kann ebenfalls dazu beitragen, eine tracheale Tubuslage zu verifizieren. Darüber hinaus kann mit diesem eine suffiziente Ventilation (adäquates expiratorisches Tidalvolumen etwa 5 bis 8 ml/kgKG) und eine minimale Leckage bestätigt werden.
- Die Verwendung eines Videolaryngoskops kann für die tracheale Intubation hilfreich sein.
- Im Verlauf soll die korrekte Tubuslage (tracheale Lage und Tubustiefe) durch eine Bildgebung bestätigt werden.

Raumluft bzw. Sauerstoff

- Während der Reanimation eines Neugeborenen sollen ein Sauerstoffmischer und Pulsoxymetrie verwendet werden.
- Innerhalb der ersten 5 Lebensminuten nach der Geburt soll das Neugeborene eine Sauerstoffsättigung zeigen, die über dem 25. Perzentil für gesunde Neugeborene liegt (■ Tab. 3).
- Wenn trotz effektiver Beatmungen kein Anstieg der Herzfrequenz erfolgt oder die Sättigung niedrig bleibt, soll die Sauerstoffkonzentration

stufenweise erhöht werden, um eine ausreichende präduktale Sauerstoffsättigung zu erreichen.

- Überprüfen Sie die inspiratorische Sauerstoffkonzentration und die damit erreichte Sättigung regelmäßig (z. B. alle 30 s) und passen Sie die Sauerstoffkonzentration ggf. an, um sowohl eine Hypoxie als auch eine Hyperoxie zu vermeiden.
- Verringern Sie die inspiratorische Sauerstoffkonzentration, wenn die präduktale (rechte Hand) Sättigung 95 % überschreitet.

Reife Neugeborene und Frühgeborene ≥ 32 Schwangerschaftswochen.

- Beginnen Sie bei Neugeborenen, die bei der Geburt Atemunterstützung erhalten, mit einer Beatmung mit Raumluft (21 %).

Frühgeborene < 35 Wochen.

- Die Reanimation soll je nach Gestationsalter mit Raumluft oder mit einer niedrigen Sauerstoffkonzentration eingeleitet werden:
 - ≥ 32 Wochen: 21 %,
 - 28–31 Wochen: 21–30 %,
 - < 28 Wochen: 30 %.
- Bei Frühgeborenen vor 32 + 0 Schwangerschaftswochen soll eine Sauerstoffsättigung unter 80 % und/oder eine Bradykardie im Alter von 5 min unbedingt vermieden werden, da beides mit einem schlechteren Outcome korreliert.

Thoraxkompressionen

Beurteilung der Notwendigkeit von Thoraxkompressionen.

- Wenn die Herzfrequenz nach 30 s suffizienter Beatmung sehr langsam bleibt (< 60/min) oder fehlt, beginnen Sie mit Thoraxkompressionen.
- Sobald Thoraxkompressionen durchgeführt werden:
 - Erhöhen Sie die inspiratorische Sauerstoffkonzentration auf 100 %.
 - Verständigen Sie, falls nicht bereits geschehen, umgehend weitere fachkundige Hilfe.

Thoraxkompression.

- Führen Sie Thoraxkompressionen und Beatmungen in einem Verhält-

Tab. 3 Ungefähre Ziel-S_pO₂ in den ersten 10 min für gesunde Neugeborene (nach Dawson [77])

Zeit nach der Geburt (min)	Unterer S _p O ₂ -Grenzwert (%)
2	65
5	85
10	90

nis von drei Thoraxkompressionen zu einer Beatmung synchronisiert durch. Die Kompressionsfrequenz soll etwa bei 120/min liegen (Ergänzung der AutorInnen der deutschen Fassung), so lassen sich etwa 15 Zyklen von Thoraxkompressionen und Ventilationen in 30 s erreichen.

- Umgreifen Sie für die Thoraxkompressionen nach Möglichkeit den Thorax und verwenden Sie die 2-Daumen-Technik. Der Druckpunkt soll unterhalb der gedachten Linie zwischen den Mamillen liegen (Ergänzung der AutorInnen der deutschen Fassung).
- Die Kompressionstiefe soll bei etwa 1/3 des Thoraxdurchmessers liegen (Ergänzung der AutorInnen der deutschen Fassung).
- Beurteilen Sie den Erfolg der Maßnahmen alle 30 s.
- Wenn die Herzfrequenz sehr langsam bleibt oder fehlt, fahren Sie fort, stellen aber sicher, dass die Atemwege gesichert sind. Intubieren³ Sie, wenn

³ Anmerkung der AutorInnen der deutschen Fassung: Im Originaltext steht an dieser Stelle der Satz: „If the heart rate remains very slow or absent, continue but ensure that the airway is secured (e.g. intubate the trachea if competent and not done already).“ Für die AutorInnen der deutschen Fassung impliziert diese Formulierung einen zu starken Aufforderungscharakter und die AutorInnen möchten darauf hinweisen, dass es keine Evidenz dafür gibt, dass eine Intubation zu diesem Zeitpunkt das Outcome eines reanimationspflichtigen Neugeborenen tatsächlich verbessert. Darüber hinaus besteht Übereinkunft, dass die Fertigkeit eine Intubation, insbesondere im Rahmen einer Neugeborenenreanimation, sicher und effektiv durchzuführen, begrenzt ist und in den letzten Jahren zudem durch neue Versorgungsstrategien in der Neonatologie noch deutlich abgenommen hat. Die AutorInnen der deutschen Fassung möchten daher festhalten: Wenn sich der Brustkorb unter Beatmung zwischen den Thoraxkompressionen hebt, muss sehr gut abgewogen werden, ob eine Intubation zu diesem Zeitpunkt tatsächlich einen Vorteil bedeutet. Möglicherweise führt eine Intubation

Sie es können und es noch nicht geschehen ist.

- Passen Sie die inspiratorische Sauerstoffkonzentration an die Sauerstoffsättigung an, wenn mit der Pulsoxymetrie ein plausibler Wert gemessen werden kann.
- Erwägen Sie die Anlage eines Gefäßzugangs und die Gabe von Medikamenten.⁴

Gefäßzugang

Während der Reanimation eines Neugeborenen nach der Geburt ist der peripheren Venen Zugang für die Verabreichung von Medikamenten wahrscheinlich schwierig herzustellen und insgesamt suboptimal.

Nabelvenenkatheter.

- Die Nabelvene bietet bei Neugeborenen im Allgemeinen einen schnellen Gefäßzugang und soll als Methode der ersten Wahl während der Reanimation in Erwägung gezogen werden.
- Der Nabelvenenkatheter muss vor der Verwendung entlüftet werden und als „geschlossenes System“ verwendet werden, um Luftembolien während des Einführens zu vermeiden, falls das Kind z. B. durch Schnappatmung einen ausreichenden intrathorakalen Unterdruck erzeugt.
- Überprüfen Sie die korrekte Lage durch Aspiration von Blut über den Katheter, bevor Sie Medikamente oder Flüssigkeiten verabreichen.

zu diesem Zeitpunkt zu einer Beeinträchtigung der Reanimationsmaßnahmen und zu einer Verzögerung weiterer Maßnahmen (z. B. Legen eines Notfallzugangs und Medikamentengabe). Mitunter kann eine Intubation zu diesem Zeitpunkt, insbesondere wenn sie nicht schnell und sicher durchgeführt werden kann, das Outcome des Neugeborenen verschlechtern.

⁴ Eine tracheale Intubation ist zu diesem Zeitpunkt nur selten notwendig. (Anmerkung der AutorInnen der deutschen Fassung).

- Im Notfall kann eine saubere und nicht zwingend sterile Arbeitsweise ausreichend sein.
- Ein Gefäßzugang über die Nabelvene kann eventuell einige Tage nach der Geburt noch möglich sein und kann unter Umständen bei einer postnatalen Verschlechterung als Zugangsweg in Erwägung gezogen werden.

Intraossärer Zugang.

- Der intraossäre Zugang (i.o.) stellt eine alternative Methode zur Applikation von Medikamenten bzw. Infusionen im Notfall dar.

Gefäßzugang während der postnatalen Anpassung bzw. Postreanimationsbehandlung.

- Wenn nach erfolgreicher Reanimation ein venöser Zugang erforderlich ist, kann ein peripherer Gefäßzugang ausreichend sein, sofern nicht mehrere Infusionen zur gleichen Zeit erforderlich sind. In diesem Fall ist wahrscheinlich ein zentraler Gefäßzugang vorzuziehen.
- Der intraossäre Zugang kann kurzfristig ausreichend sein, wenn kein anderer Gefäßzugang möglich ist.

Medikamente

Während der Reanimation. Medikamente werden während der Reanimation von Neugeborenen nur sehr selten benötigt und die Evidenz bezüglich ihrer Wirksamkeit ist begrenzt. Bleibt die Herzfrequenz trotz suffizienter Beatmung und Thoraxkompressionen für 30 s unter 60/min, kann die Gabe folgender Medikamente erwogen werden:

- Adrenalin
 - Indikation: Wenn die Herzfrequenz trotz suffizienter Beatmung und Thoraxkompressionen weiter unter 60/min liegt.
 - Applikationsweg: Bevorzugt intravenös oder intraossär
 - Dosis: 10–30 µg/kgKG (0,1–0,3 ml/kgKG 1:10.000 Adrenalin [1000 µg in 10 ml]).
 - Tracheale Gabe: Wenn das Neugeborene intubiert ist und kein anderer Zugang verfügbar ist.

- Tracheale Dosis: 50–100 µg/kgKG.
- Wiederholte Gaben alle 3–5 min, wenn die Herzfrequenz < 60/min bleibt.
- Glukose
 - Indikation: Zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Hypoglykämie unter prolongierter Reanimation.
 - Applikationsweg: Intravenös oder intraossär
 - Dosis: 250 mg/kgKG als Bolus (2,5 ml/kgKG 10 %ige Glukoselösung)
- Volumentherapie
 - Indikation: Bei Verdacht auf Blutverlust oder Schock, der nicht auf andere Reanimationsmaßnahmen anspricht.
 - Applikationsweg: Intravenös oder intraossär
 - Dosis: 10 ml/kgKG Rh-negatives Blut der Gruppe 0 oder isotonische kristalloide Lösung.
- Natriumbikarbonat
 - Indikation: Kann bei längerer, erfolgloser Reanimation unter suffizienter Beatmung in Betracht gezogen werden, um eine intrakardiale Azidose günstig zu beeinflussen.
 - Applikationsweg: Intravenös oder intraossär.
 - Dosis: 1–2 mmol/kgKG Natriumbikarbonat (2–4 ml/kgKG 4,2 %ige Lösung), langsame intravenöse Gabe.

In Situationen lang anhaltender Apnoe.

- Naloxon
 - Indikation: Neugeborene von Müttern, bei welchen eine Opioidgabe bekannt ist, die trotz effektiver Reanimationsmaßnahmen bei gutem Herzzeitvolumen apnoisch bleiben.
 - Applikationsweg: Intramuskulär (i.m.)
 - Dosis: 200 µg als Initialdosis
 - Achtung: Naloxon ist nur kurz wirksam, daher ist im Verlauf ein kontinuierliches Monitoring der Atmung entscheidend.

Wenn sich das Neugeborene trotz suffizienter Reanimationsmaßnahmen nicht erholt

Ziehen Sie andere Faktoren in Betracht, die eine erfolgreiche Reanimation verhindern können und zunächst therapiert werden müssen, z. B. einen Pneumothorax, eine Hypovolämie, angeborene Anomalien oder auch ein Equipmentproblem etc.

Postreanimationsbehandlung

Auch nach anfänglicher Stabilisierung können sich Neugeborene nach einer Reanimation im weiteren Verlauf erneut klinisch verschlechtern. Sobald Atmung und Kreislauf stabilisiert sind, muss das Neugeborene daher an einen Ort verlegt werden, an dem eine engmaschige Überwachung und weitere intensivmedizinische Therapie erfolgen kann.

Glukose.

- Überwachen Sie den Glukosespiegel nach der Reanimation engmaschig.
- Protokolle und Leitlinien zur Behandlung und zum Management des Blutzuckerspiegels nach Reanimation sollen vorhanden sein.
- Verhindern Sie hyper- und hypoglykämische Phasen.
- Verhindern Sie große Schwankungen der Blutglukosewerte.
- Erwägen Sie eine Glukoseinfusion, um eine Hypoglykämie zu vermeiden.

Wärmemanagement.

- Halten Sie die Körperkerntemperatur zwischen 36,5 und 37,5 °C.
- Erwärmen Sie aktiv, wenn die Temperatur unter dieses Niveau fällt und es keinen Grund gibt, eine therapeutische Hypothermie in Betracht zu ziehen (siehe unten).

Therapeutische Hypothermie.

- Nach erfolgreicher Reanimation soll erwogen werden, Neugeborene, die klinische und/oder biochemische Hinweise auf ein signifikant erhöhtes Risiko für die Entwicklung einer mittelschweren oder schweren hypoxisch-ischämischen Enzephalopathie aufweisen, einer therapeutischen

Hypothermie von 33 bis 34 °C zuzuführen.

- Die Einschlusskriterien für eine therapeutische Hypothermie müssen klar definiert und dokumentiert sein. Dazu gehören Nabelschnurblutgasanalysen und der neurologische Status des Neugeborenen.
- Sorgen Sie für einen sicheren Transport in eine Einrichtung, in der die erforderliche Behandlung sicher und effektiv durchgeführt werden kann und das Neugeborene kontinuierlich überwacht werden kann.
- Die Durchführung einer therapeutischen Hypothermie ohne Berücksichtigung entsprechender Einschlusskriterien ist wahrscheinlich sogar eher schädlich (siehe Wärmemanagement).

Prognose (Dokumentation).

- Erstellen Sie eine ausführliche Dokumentation, die den Zustand des Neugeborenen nach der Geburt, den Verlauf der Reanimation, alle eingeleiteten Maßnahmen in ihrer zeitlichen Reihenfolge und die Veränderungen des klinischen Zustands des Neugeborenen während der Durchführung dieser Maßnahmen berücksichtigt. Nur in Zusammenschau aller verfügbaren Befunde ist eine Einschätzung der Prognose, ggf. unter zusätzlicher Verwendung spezieller Prognosetools, möglich.

Kommunikation mit den Eltern

Wenn die Durchführung von unterstützenden Maßnahmen bereits vor der Geburt wahrscheinlich ist.

- Wann immer möglich, soll die Entscheidung zur aktiven Versorgung z. B. eines extremen Frühgeborenen oder eines Neugeborenen mit einer komplexen klinischen Symptomatik in enger Absprache mit den Eltern und erfahrenen Pädiatern, Hebammen und Geburtshelfern getroffen werden.
- Besprechen Sie bereits vor der Entbindung möglichst alle denkbaren Optionen für die Versorgung, einschließlich der potenziellen Notwendigkeit von Reanimationsmaßnahmen und auch der Grenzen der

Versorgung und Prognose, um im Konsens mit allen Beteiligten einen Plan für die Geburt zu entwickeln.

- Dokumentieren Sie alle Diskussionen und Entscheidungen sorgfältig in der Krankenakte der Mutter vor der Entbindung und nach der Geburt in der Krankenakte des Neugeborenen.

Für jede Geburt.

- Wenn unterstützende Maßnahmen bzw. Reanimationsmaßnahmen nach der Geburt erforderlich sind, ist es sinnvoll, Eltern und engen Bezugspersonen zu ermöglichen, bei diesen Maßnahmen anwesend zu sein, wann immer die Situation und die Infrastruktur dies zulassen.
- Bei der Entscheidung, ob Eltern während dieser Phase anwesend sein können, sollen sowohl die Bedürfnisse des Teams, das die Reanimation durchführt, als auch die Bedürfnisse der Eltern berücksichtigt werden.
- Unabhängig davon, ob die Eltern bei der Reanimation anwesend sind, muss sichergestellt sein, dass die Eltern über den Zustand des Kindes und die Behandlung ihres Kindes wann immer möglich informiert werden.
- Das Miterleben der Reanimation des eigenen Kindes ist für Eltern eine extrem belastende Situation. Wenn es die Situation zulässt, kann es hilfreich für die Eltern sein, wenn ein Mitglied des Teams die Eltern während der Reanimation betreut und immer wieder über den Zustand des Kindes und die durchgeführten Maßnahmen informiert.
- Ermöglichen Sie den Eltern, so bald wie möglich nach der Entbindung oder auch einer Reanimation, selbst wenn Wiederbelebungsmaßnahmen nicht erfolgreich waren, ihr Kind zu halten bzw. Haut-zu-Haut-Kontakt mit ihrem Neugeborenen herzustellen.
- Klären Sie die Eltern über alle durchgeführten Maßnahmen auf und erklären Sie auch, warum diese so schnell wie möglich nach der Geburt notwendig waren.

- Stellen Sie sicher, dass alle Ereignisse und auch alle nachfolgenden Gespräche mit den Eltern gut dokumentiert sind.
- Bieten Sie den Eltern auch im weiteren Verlauf Gespräche an, die den Eltern helfen sollen, die Ereignisse zu reflektieren, zu begreifen und in der Folge auch aufarbeiten zu können.
- Ziehen Sie zusätzliche Unterstützung für die Eltern (z. B. psychologisch oder seelsorgerisch) nach der Geburt bzw. nach erfolgter Reanimation in Erwägung.

Verzicht auf bzw. Abbrechen von Reanimationsmaßnahmen

- Empfehlungen bezüglich des Verzichts oder der Beendigung von Reanimationsmaßnahmen müssen grundsätzlich immer auf Basis aktueller nationaler und regionaler Outcomedaten interpretiert und getroffen werden.
- Wann immer Reanimationsmaßnahmen abgebrochen, zurückgenommen oder begründet vorenthalten werden, muss das Therapieziel auf das Wohlbefinden und ein Sterben in Würde für das Neugeborene und dessen Familie geändert werden.
- Diese Entscheidungen sollen idealerweise immer unter Einbeziehung erfahrener Neonatologen bzw. Kinderärzte getroffen werden.

Beendigung von Reanimationsmaßnahmen.

- Regionale und nationale Organisationen legen zumeist Empfehlungen zur Beendigung von Reanimationsmaßnahmen fest.
- Wenn bei einem gerade geborenen Neugeborenen die Herzfrequenz länger als 10 min nicht nachweisbar ist, beurteilen Sie alle klinischen Faktoren (z. B. Schwangerschaftswoche, Fehlbildungen) und überprüfen Sie die Effektivität der Reanimationsmaßnahmen. Holen Sie darüber hinaus die Ansichten der anderen Teammitglieder in Bezug auf die weitere Fortsetzung der Reanimationsmaßnahmen ein.
- Wenn die Herzfrequenz eines Neugeborenen nach der Geburt länger als

20 min nicht nachweisbar ist, obwohl alle Reanimationsmaßnahmen technisch korrekt durchgeführt werden und reversible Ursachen ausgeschlossen wurden, kann es angemessen sein, die Wiederbelebungsmaßnahmen zu beenden.

- Wenn es unter Durchführung technisch korrekter Reanimationsmaßnahmen lediglich zu einer teilweisen Verbesserung des klinischen Zustands bzw. zu einem unzureichenden Anstieg der Herzfrequenz kommt, ist eine Entscheidung deutlich schwieriger zu treffen. Es kann in diesen Situationen angebracht sein, das Neugeborene zunächst auf die Intensivstation zu verlegen und in Zusammenschau aller weiteren Befunde einen Abbruch der lebenserhaltenden Maßnahmen erst zu einem späteren Zeitpunkt in Erwägung zu ziehen, sofern sich der klinische Zustand des Neugeborenen nicht bessert.
- Wenn eine lebenserhaltende Behandlung nicht durchgeführt oder beendet wird, muss eine angemessene palliative Therapie („Comfort Care“) im Vordergrund stehen

Verzicht auf Reanimationsmaßnahmen.

- Auch Entscheidungen über das Nichtdurchführen lebenserhaltender Maßnahmen sollen idealerweise nur in Absprache mit den Eltern und auf Basis aktueller nationaler und regionaler Outcomedaten getroffen werden.
- In Situationen, in denen eine extrem hohe (> 90 %) prognostizierte neonatale Sterblichkeit und eine inakzeptabel hohe Morbidität bei den überlebenden Neugeborenen wahrscheinlich ist, ist die Einleitung von Reanimationsmaßnahmen und ein aktives (überlebensorientiertes) Management normalerweise nicht angemessen.
- Eine Wiederbelebung ist fast immer unter Bedingungen angezeigt, die mit einer hohen Überlebensrate (> 50 %) und einer als akzeptabel erachteten Morbidität verbunden sind. Dies schließt die meisten Neugebore-

nen mit einem Gestationsalter von $\geq 24 + 0$ Schwangerschaftswochen (es sei denn, es bestehen Hinweise auf eine schwerwiegende fetale Beeinträchtigung, wie eine schwere intrauterine Infektion oder eine Hypoxie bzw. Ischämie) sowie die Mehrzahl der kongenitalen Fehlbildungen ein. Reanimationsmaßnahmen sollen im Allgemeinen auch in Situationen eingeleitet werden, in denen Ungewissheit über das Outcome besteht und keine Möglichkeit bestand, in vorherigen Gesprächen mit den Eltern ihre Sichtweise zu erfahren.

- Unter Bedingungen mit geringer prognostizierter Überlebenschance ($< 50\%$) und hoher Morbidität und in der Folge einer hohen Belastung durch medizinische Behandlungen für das Kind sollen die Wünsche der Eltern hinsichtlich einer aktiven (überlebensorientierten) Versorgung eingeholt und in der Regel unterstützt werden.

Lebensrettende Maßnahmen bei Kindern

Diese Leitlinien des European Resuscitation Council Lebensrettende Maßnahmen bei Kindern (PLS) basieren auf dem International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations 2020. Dieser Abschnitt enthält Leitlinien zur Behandlung kritisch kranker Säuglinge und Kinder, während und nach einem Kreislaufstillstand.

Im Vergleich zu unseren Leitlinien von 2015 wurden in diesen Leitlinien relativ wenige wesentliche Änderungen vorgenommen. Zu den wichtigsten Punkten gehören: Die PLS-Leitlinien gelten für alle Kinder im Alter von 0 bis 18 Jahren, mit Ausnahme von „Neugeborenen bei der Geburt“. Patienten, die erwachsen aussehen, können als Erwachsene behandelt werden. Die Sauerstofftherapie soll auf eine Sauerstoffsättigung (S_pO_2) von 94 bis 98 % titriert werden. Bis dies möglich ist, empfehlen wir bei Kindern mit Anzeichen von zirkulatorischem bzw. respiratorischem Versagen, bei denen die Sauerstoffsättigung (S_pO_2) oder der Sauerstoffpartialdruck (P_aO_2) nicht messbar

ist, Sauerstoff mit hohem Flow zu geben. Geben Sie bei Kindern mit Kreislaufversagen Flüssigkeitsboli von 10 ml/kgKG. Schätzen Sie die Situation nach jedem Bolus neu ein, um eine Flüssigkeitsüberladung zu vermeiden. Beginnen Sie frühzeitig mit vasoaktiven Medikamenten. Begrenzen Sie Kristalloidboli und geben Sie bei hämorrhagischem Schock, so bald wie möglich, Blutprodukte (Vollblut oder Erythrozytenkonzentrate mit Plasma und Thrombozyten).

Jeder, der in pädiatrischem BLS geschult ist, soll den spezifischen PBLS-Algorithmus verwenden. PBLS-Anwender führen unmittelbar nach 5 Atemspenden Thoraxkompressionen durch, es sei denn, es liegen eindeutige Zeichen für eine (suffiziente) Kreislauffunktion vor. Einzelne Ersthelfer sollen zuerst um Hilfe rufen, bevor sie weitermachen (Nutzen Sie die Freisprechfunktion Ihres Handys). Wenn Sie einen plötzlichen Kollaps beobachten, sollen Sie versuchen, einen AED zu verwenden, wenn dieser leicht zugänglich ist. Wenn Sie kein Telefon haben, sollen Sie 1 min lang CPR durchführen, bevor Sie die CPR für den Notruf unterbrechen. Ein einzelner PBLS-Anwender kann bei Säuglingen entweder die den Thorax umfassende 2-Daumen-Technik oder die 2-Finger-Technik für Thoraxkompressionen verwenden. Für EPALS-Anwender wird noch mehr Wert darauf gelegt, aktiv nach reversiblen Ursachen zu suchen und diese zu behandeln. Die 2-Hand-Technik der Beutel-Maske-Beatmung ist die Beatmungsunterstützung der ersten Wahl während der CPR für alle geschulten Ersthelfer. Nur wenn ein Patient intubiert ist, empfehlen wir eine asynchrone Beatmung mit einer altersgerechten Frequenz (10–25/min). EPALS-Anwender sollen in Zweifelsfällen den Rhythmus als defibrillierbar einstufen.

Die wichtigsten Aussagen aus diesem Abschnitt sind in [Abb. 15](#) dargestellt.

Erkennen und Behandlung kritisch kranker Kinder

Beurteilung des schwerkranken oder verletzten Kindes.

- Verwenden Sie das pädiatrische Beurteilungsdreieck oder ein ähnliches „Quick-Look-Tool“, um ein

gefährdetes Kind frühzeitig zu erkennen.

- Folgen Sie dem ABCDE-Konzept:
 - Führen Sie bei jedem Beurteilungsschritt, wenn Sie pathologische Befunde feststellen, entsprechende Maßnahmen durch.
 - Wiederholen Sie Ihre Beurteilung nach jedem Eingriff oder bei Zweifeln.
- A. Airway (Atemweg): Öffnen Sie die Atemwege und halten Sie diese offen.
- B. Breathing (Atmung): Prüfen Sie:
 - Atemfrequenz (siehe [Tab. 4](#); der Trend ist informativer als einzelne Messwerte),
 - Atemarbeit, z. B. Einziehungen, Stöhnen, Nasenflügeln ... ,
 - Atemzugvolumen (Tidalvolumen, VT)- die Belüftung klinisch (Thoraxhebung; Qualität des Schreiens) oder durch Auskultation,
 - Oxygenierung (Hautkolorit, Puls-oxymetrie). Beachten Sie, dass eine Hypoxämie ohne andere offensichtliche klinische Symptome auftreten kann.
 - Erwägen Sie die Kapnographie.
 - Erwägen Sie eine Thoraxsonographie.
- C. Circulation (Zirkulation): Überprüfen Sie den Kreislauf.
 - Pulsfrequenz (siehe [Tab. 5](#); der Trend ist wichtiger als einzelne Messwerte),
 - Pulsstärke,
 - periphere und Endorganperfusion: Kapillarfüllung („capillary refill time“, CRT), Urinausscheidung, Bewusstseinsniveau. Beachten Sie, dass die Kapillarfüllung nicht sehr empfindlich ist. Eine normale CRT soll Ersthelfer nicht in Sicherheit wiegen.
 - Bewertung der Vorlast: Halsvenen, Lebergröße, Rasselgeräusche,
 - Blutdruck (siehe [Tab. 6](#)).
 - Erwägen Sie serielle Laktatmessungen.
 - Erwägen Sie eine Bedside-Echokardiographie.
- D. Disability (Neurologie): Prüfen Sie den neurologischen Status.

- Bewusstseinsniveau mit dem AVPU-Score (Alert-Verbal-Pain-Unresponsive), der (pädiatrischen) Glasgow-Koma-Skala (GCS) oder dem GCS-Motor-Score. Ein AVPU-Score-Wert von P oder weniger, ein Glasgow-Motor-Score von 4 oder ein GCS-Gesamtwert von ≤ 8 definieren eine Bewusstseinstörung, bei der vermutlich keine Atemwegsreflexe mehr bestehen.
- Pupillengröße, -symmetrie und Lichtreaktion.
- Vorhandensein von Haltungsreflexen oder fokale Zeichen.
- Erkennen Sie Krampfanfälle als neurologischen Notfall.
- Überprüfen Sie den Blutzuckerspiegel bei Bewusstseinsveränderungen und/oder möglicher Hypoglykämie.
- Neu aufgetretene, ungeklärte neurologische Symptome, insbesondere wenn sie nach einer Reanimation bestehen bleiben, erfordern dringend eine Bildgebung.

Management des schwerkranken oder verletzten Kindes. Obgleich das ABCDE-Konzept ein Schritt-für-Schritt-Vorgehen beinhaltet, sollen die Interventionen in der Praxis am besten von mehreren Teammitgliedern koordiniert parallel durchgeführt werden. Teamwork ist essenziell bei der Versorgung schwerkranker oder verletzter Kinder.

Wichtige Komponenten der Teamarbeit sind:

- Vorausplanen: Was erwarten Sie, weisen Sie Aufgaben zu.
- Vorbereiten: Materialien, Checklisten als Entscheidungshilfe, Patientenakte.
- Choreographie: Wo stehen, wie am Kind arbeiten, effektive Teamgröße.
- Kommunizieren: verbal wie auch nonverbal. Arbeiten Sie mit Closed-loop-Kommunikation und standardisierten Kommunikationselementen, um z. B. Pausen der Thoraxkompression zu zählen oder Patiententransfers zu planen. Sprechen Sie über Unwesentliches „so wenig wie möglich“. Sorgen Sie für ein stressfreies Arbeits-

umfeld. Sorgen Sie für eine Kultur, die unangemessenes Verhalten, sei es von Kollegen oder der Familie, klar ablehnt.

- Interagieren: Das Protokoll gibt den Teammitgliedern definierte Rollen, sie führen ihre Aufgaben parallel durch. Der Teamleiter ist klar erkennbar, überwacht die Teamleistung, priorisiert Aufgaben, um gemeinsam die Ziele zu erreichen, und hält das gesamte Team auf dem Laufenden. „Hands-off“-Leitung wird bevorzugt, wenn es machbar ist. Ein gemeinsames Situationsbewusstsein ist entscheidend.

Im Folgenden wird das Management verschiedener lebens- oder organbedrohender Notfälle bei Kindern „in der ersten Stunde“ beschrieben, die bei unsachgemäßer Behandlung zu einem Kreislaufstillstand führen können. Sehr oft haben Kinder eine Kombination von Problemen, die einen individualisierten Ansatz erfordern. Die Behandlungsempfehlungen für Kinder unterscheiden sich häufig von denen für Erwachsene, jedoch auch zwischen Kindern unterschiedlichen Alters und Gewichts. Um das Gewicht eines Kindes abzuschätzen, verlassen Sie sich entweder auf die Angaben der Eltern oder Betreuer oder verwenden Sie eine Längenumrechnung, idealerweise um den Habitus korrigiert (z. B. Pawper MAC). Verwenden Sie nach Möglichkeit Entscheidungshilfen mit Dosisempfehlungen für Notfallmedikamente und -hilfsmittel.

Management des Atemstillstands: generelles Vorgehen (AB). Der Übergang von einem kompensierten Zustand zu einer Dekompensation ist nicht vorhersehbar. Daher soll jedes gefährdete Kind überwacht werden, um eine Verschlechterung frühzeitig erkennen und korrigieren zu können. Das Atemwegsmanagement gilt als aerosolerzeugend und erfordert, wenn eine übertragbare Krankheit vermutet wird, eine geeignete (risikoadjustierte) persönliche Schutzausrüstung (PSA).

- Öffnen Sie den Atemweg und halten Sie ihn offen durch:
 - Adäquates Lagern von Kopf und Körper,

- Hals überstrecken, Kinn anheben oder Esmarch-Handgriff,
- sorgfältiges Absaugen von Sekreten.

Wache Kinder finden wahrscheinlich selber eine optimale Position zur Erleichterung der Atmung.

- Erwägen Sie einen Oropharyngealtubus bei bewusstlosen Kindern, die keinen Würgerreflex haben.
 - Verwenden Sie die geeignete Größe (gemessen von den mittleren Schneidezähnen bis zum Unterkieferwinkel) und vermeiden Sie, die Zunge beim Einführen nach hinten zu schieben.
- Erwägen Sie einen Nasopharyngealtubus bei einem bewusstseinsgetrübten Kind:
 - Nicht aber bei Verdacht auf eine basale Schädelfraktur oder eine Koagulopathie.
 - Die richtige Einführtiefe soll dem Abstand Nasenlöcher bis Tragus entsprechen.
- Bei Kindern mit Tracheotomie:
 - Überprüfen Sie die Durchgängigkeit der Tracheostomiekanüle und saugen sie, wenn notwendig, ab.
 - Bei Verdacht auf eine Verlegung, die nicht durch Absaugen behoben werden kann, ziehen Sie die Kanüle sofort heraus und setzen Sie eine neue ein. Wenn dies nicht möglich ist, sollen die Ersthelfer einen (definierten) Notfallplan für die Wiederherstellung des Atemwegs haben.
- Zur Unterstützung der Oxygenierung erwägen Sie eine Sauerstoffgabe und/oder einen positiv endexpiratorischen Druck (PEEP).
 - Wo es möglich ist, Sauerstoffsättigung (S_pO_2) oder Sauerstoffpartialdruck (P_aO_2) genau zu messen: Geben Sie Sauerstoff, wenn die Sauerstoffsättigung (S_pO_2) $< 94\%$ liegt. Ziel ist es, eine Sauerstoffsättigung (S_pO_2) von $\geq 94\%$ mit möglichst geringer inspiratorischer Sauerstofffraktion (F_iO_2) zu erreichen. Andauernde S_pO_2 -Werte von 100% sollen grundsätzlich vermieden werden, außer bei z. B. pulmonaler Hypertonie oder

PLS* 2021

5 KERNAUSSAGEN

*0–18 Jahre, ausgenommen Neugeborene im Rahmen der Geburt



- 1.** Verwendung des ABCDE-Schemas als gemeinsame Sprache

Als Team zusammenarbeiten – kompetent auftreten.
- 2.** Titrieren der Sauerstoffgabe auf eine Ziel-SpO₂ von 94–98% — Applikation von 100% High-Flow O₂ nur, wenn SpO₂ nicht gemessen werden kann und Zeichen eines respiratorischen / hämodynamischen Versagens vorhanden sind.
- 3.** Bei „Schock“ ist die Gabe von einem oder mehreren Flüssigkeitsboli von 10 ml/kg KG von (bevorzugt balancierter) Vollelektrolytlösung (oder Blutprodukten) indiziert. Reevaluation nach jedem Bolus. Frühzeitig Beginn einer Katecholamintherapie erwägen.
- 4.** Verwenden Sie - wenn Sie geschult sind - den spezifischen PBLIS- Algorithmus für den Basic Life Support (ABC – 15:2). Eine qualitativ hochwertige CPR und Verringerung der „Hands-off“-Zeit sind von höchster Priorität. Achten Sie auf die Sicherheit der Helfer.
- 5.** Beim Advanced Life Support verwenden Sie den spezifischen EPALS- Algorithmus. Suchen und behandeln Sie reversibel Ursachen. Verwenden Sie die 2-Helfer-Methode der BMV als Beatmungsunterstützung der ersten Wahl. Nur nach endotrachealer Intubation beatmen Sie asynchron mit altersadäquater Beatmungsfrequenz (10-25/Minute) .

Abb. 15 ▲ PLS Infografik

Kohlenmonoxidvergiftung. Geben Sie Kindern ohne Anzeichen oder unmittelbares Risiko einer Hypoxämie oder eines Schocks präventiv keinen Sauerstoff.

Für Kinder mit bestimmten chronischen Erkrankungen gibt es spezifische Empfehlungen.

- Wenn es unmöglich ist, Sauerstoffsättigung (S_pO₂) oder Sauerstoffpartialdruck (P_aO₂) genau zu messen: Starten Sie bei klinischen Anzeichen von Kreislauf- oder Atemstörungen die Sauerstoffgabe mit hoher inspiratorischer Sauer-

stoffraktion (F_iO₂) und titrieren Sie die Sauerstofftherapie, sobald Sauerstoffsättigungs- (S_pO₂) und/oder Sauerstoffpartialdruckmessung (P_aO₂) verfügbar sind.

- Wo möglich, soll kompetentes Personal bei Kindern mit Atemstörungen und Hypoxämie, die nicht auf Sauerstoff mit niedrigem Flow ansprechen, entweder eine High-flow-Sauerstoffbrille (HFNC) oder eine nichtinvasive Beatmung (NIV) in Betracht ziehen.
- Die endotracheale Intubation mit kontrollierter Beatmung er-

möglicht die sichere Gabe einer definierten Sauerstofffraktion (F_iO₂) und die Applikation eines PEEP. Die Entscheidung zur Intubation soll gegen die Risiken des Verfahrens und die verfügbaren Ressourcen abgewogen werden (siehe unten).

- Bleiben Kinder trotz eines hohen PEEP (> 10 cm H₂O) und Standardoptimierungsmaßnahmen hypoxisch, erwägen Sie eine permissive Hypoxämie und senken Sie das Oxygenierungsziel auf eine Sauerstoffsättigung (S_pO₂) von 88 bis 92%.
- Passen Sie bei der Beatmung die Atemfrequenz (und die Expirationszeit) und/oder das Atemzugvolumen (VT) an das Alter an.
 - Verwenden Sie ein Atemzugvolumen von 6 bis 8 ml/i kgKG (ideales Körpergewicht, IBW), aber berücksichtigen Sie unter anderem den physiologischen Totraum und den Totraum des Geräts, insbesondere bei kleinen Kindern. Der Totraum des Geräts soll minimiert werden. Achten Sie auf eine normale Thoraxhebung. Vermeiden Sie Hyper- wie Hypoventilation. Streben Sie Normokapnie an. Sorgen Sie frühzeitig für Hilfe von Experten.
 - Bei akutem Lungenversagen erwägen Sie eine permissive Hyperkapnie (pH > 7,2), um eine übermäßig aggressive Beatmung zu vermeiden. Eine permissive Hyperkapnie wird bei pulmonaler Hypertonie oder schwerem Hirntrauma nicht empfohlen.
 - Verwenden Sie den endtidalen Kohlendioxidwert (etCO₂) oder den venösen Kohlendioxidpartialdruck (P_vCO₂) nur als Ersatz für den arteriellen Kohlendioxidpartialdruck (P_aCO₂), wenn die Korrelation nachgewiesen wurde.
- Beutel-Maske-Beatmung (BMV) ist die empfohlene Primärtherapie zur Atmungsunterstützung.
 - Stellen Sie eine korrekte Kopfposition und Maskengröße sowie eine gute Abdichtung zwischen Maske und Gesicht sicher.

Tab. 4 Normwerte für das Alter: Atemfrequenz

Altersspezifische Atemfrequenz	1 Monat	1 Jahr	2 Jahre	5 Jahre	10 Jahre
Obergrenze des Normbereichs	60	50	40	30	25
Untergrenze des Normbereichs	25	20	18	17	14

Tab. 5 Normwerte nach Alter: Herzfrequenz

Herzfrequenz nach Alter	1 Monat	1 Jahr	2 Jahre	5 Jahre	10 Jahre
Obergrenze des Normbereichs	180	170	160	140	120
Untergrenze des Normbereichs	110	100	90	70	60

- Verwenden Sie einen für das Alter geeigneten Beatmungsbeutel. Um ein angemessenes Atemzugvolumen zu gewährleisten, soll die Inspirationszeit ausreichend lang sein (ca. 1 s). Achten Sie jedoch immer darauf, eine Überinflation zu vermeiden.
- Verwenden Sie die 2-Helfer-Beatmung, insbesondere wenn die Beatmung schwierig ist oder das Risiko einer Krankheitsübertragung besteht. Erwägen Sie Atemwegshilfen.
- Wenn Sie kompetent sind, erwägen Sie frühzeitig die Anlage eines supraglottischen Atemwegs (SGA) oder eine endotracheale Intubation (TT), wenn die Beutel-Maske-Beatmung die Sauerstoffversorgung und/oder Beatmungssituation nicht verbessert oder vermutlich lange dauern wird.
- Endotracheal intubieren soll nur ein erfahrener Ersthelfer nach einem definierten Ablauf und mit den erforderlichen Materialien und Medikamenten. Die Entscheidung zu intubieren, soll immer gegen das Risiko des Verfahrens abgewogen werden.
 - Die orale endotracheale Intubation ist in Notfällen vorzuziehen.
 - Externe Kehlkopfmanipulationen sollen nur auf Aufforderung des Intubierenden vorgenommen werden.
 - Verwenden Sie für PLS Trachealtuben mit Cuff (außer vielleicht bei kleinen Säuglingen). Messen Sie den Cuffdruck und begrenzen Sie ihn nach Empfehlung des Herstellers (normalerweise < 20–25 cm H₂O).
- Verwenden Sie geeignete Medikamente, um die Intubation zu erleichtern und analgosedieren Sie anschließend alle Kinder, außer bei bestehendem Kreislaufstillstand.
- Überwachen Sie die Hämodynamik und die Sauerstoffsättigung (S_pO₂) während der Intubation und beachten Sie, dass Bradykardie und Entsättigung späte Anzeichen einer Hypoxie sind.
- Vermeiden Sie längere Laryngoskopie und/oder Mehrfachversuche. Antizipieren Sie mögliche kardiorespiratorische Probleme und planen Sie ein alternatives Atemwegsmanagement, falls Sie nicht intubieren können.
- Wenn die direkte Laryngoskopie voraussichtlich schwierig ist, ziehen Sie (frühzeitig) den Einsatz der Videolaryngoskopie in Betracht.
- Nach der Intubation ist die Bestätigung der richtigen Tubusposition obligatorisch. Beurteilen Sie klinisch und durch Bildgebung. Verwenden Sie die Kapnographie bei allen intubierten Kindern, um Obstruktion, Fehlintubation oder Dislokation frühzeitig zu erkennen.
- Supraglottische Atemwege (SGA), wie I-Gel, LMA können eine weitere Möglichkeit zur Atemwegssicherung und -beatmung sein, obwohl sie nicht vollständig vor Aspiration schützen. Obwohl ein SGA einfacher einzuführen ist als ein Endotrachealtubus, soll er nur von einem kompetenten Ersthelfer verwendet werden.
- Die plötzliche rasche Verschlechterung eines Kindes unter Beatmung (über Maske oder Endotrachealtubus) ist ein zeitkritisches Ereignis, das sofortiges Handeln erfordert. Denken Sie an das Akronym „DOPES“:
 - D steht für Dislokation (Endotrachealtubus, Maske),
 - O für Obstruktion (Endotrachealtubus, Beatmungsgerät, Atemweg, Kopfposition),
 - P für Pneumothorax,
 - E für Equipment (Sauerstoff, (Beatmungs-)Schläuche, Anschlüsse, Ventile),
 - S für „stomach“ (Magen, Bauchraum).

Management des Status asthmaticus.

- Einen schweren Asthmaanfall erkennt man an klinischen Zeichen, einer kurzen Anamnese sowie durch das Monitoring der Sauerstoffsättigung (S_pO₂).
 - Die Bestimmung der Lungenfunktion (PEF oder PEV₁) ist bei Kindern > 6 Jahre zusätzlich wertvoll, wenn diese ohne Verzögerung der Behandlung leicht gemessen werden kann.
 - Die arterielle Blutgasanalyse ist keine Routine, kann jedoch informativ sein, wenn das Kind nicht auf die Behandlung anspricht oder sich verschlechtert. Setzen Sie die Sauerstofftherapie fort, wenn Sie die Probe entnehmen. Aufgrund der Kompensation kann der Kohlendioxidpartialdruck (P_aCO₂) anfänglich normal oder verringert sein. Hyperkapnie ist ein Zeichen der Dekompensation.
 - Eine Thoraxröntgenaufnahme ist keine Routine, kann jedoch indiziert sein, wenn der Verdacht auf eine Differenzialdiagnose oder eine Komplikation besteht.
- Bei einem Status asthmaticus ist eine rechtzeitige, aggressive und protokollgerechte Behandlung erforderlich:
 - Sorgen Sie für ein angenehmes Umfeld und angenehme Körperhaltung. Vermeiden Sie Sedativa, auch bei Unruhe.
 - Geben Sie Sauerstoff titriert, um eine Sauerstoffsättigung (S_pO₂) von 94 bis 98 % zu erreichen. Geben Sie Sauerstoff in hoher Dosis, wenn die Sauerstoffsättigung (S_pO₂) nicht gemessen werden kann, allerdings nur, bis es möglich ist zu titrieren.

Tab. 6 Normwerte nach Alter: systolischer und mittlerer arterieller Blutdruck (MAP). Fünftes (p5) und fünfzigstes (p50) Perzentil nach Alter

Blutdruck nach Alter	1 Monat	1 Jahr	5 Jahre	10 Jahre
p50 für den systolischen Blutdruck	75	95	100	110
p5 für den systolischen Blutdruck	50	70	75	80
p50 für MAP	55	70	75	75
p5 für MAP	40	50	55	55

- Verwenden Sie kurz wirksame Beta-2-Agonisten (SABA) über einen Inhalator mit Spacer (z. B. Salbutamol 2–10 Hübe) oder Vernebler (z. B. Salbutamol 2,5–5 mg bzw. 0,15 mg/kgKG). Passen Sie die Dosis an die Reaktion an und wiederholen Sie nach Bedarf (bis zur kontinuierlichen Gabe in der ersten Stunde). Die Wirkung von Beta-2-Agonisten beginnt innerhalb von Sekunden und erreicht ihr Maximum bei 30 min (Halbwertszeit 2–4 h).
Seien Sie sich bewusst, dass Beta-2-Agonisten i.v. ein erhebliches Risiko für Elektrolytstörungen, Hyperlaktämie und vor allem Kreislaufversagen bergen. Wenn sie eingesetzt werden, muss das Kind sorgfältig überwacht werden.
- Geben Sie zusätzlich kurz wirkende Anticholinergika (z. B. Ipratropiumbromid 0,25–0,5 mg) entweder vernebelt oder aus einem Inhalator mit Spacer.
- Geben Sie systemisch Kortikosteroide innerhalb der ersten Stunde entweder oral oder i.v. Verwenden Sie das Ihnen am besten vertraute Kortikoid (z. B. Prednisolon 1–2 mg/kgKG, maximal 60 mg/Tag i.v.).
- Erwägen Sie Magnesium i.v. bei schwerem und lebensbedrohlichem Asthma. Geben Sie eine Einzeldosis von 50 mg/kgKG über 20 min (max. 2 g). Bei Kindern kann alternativ isotones Magnesiumsulfat vernebelt werden (2,5 ml der 250-mmol/l-Lösung; 150 mg).
- Zusätzliche Medikamente können von kompetenten Behandlern erwogen werden, z. B. i.v.-Ketamin, i.v.-Aminophyllin usw.
- Antibiotika werden nur empfohlen, wenn eine bakterielle Infektion belegt ist.
- Es gibt keinen Platz für routinemäßige systemische oder lokale Adrenalingabe bei Asthma. Aber eine Anaphylaxie soll als Differenzialdiagnose bei allen Kindern mit plötzlich auftretenden Symptomen ausgeschlossen sein.
- Wenn verfügbar, ziehen Sie nichtinvasive Beatmung oder eine High-flow-Nasenkanüle bei Kindern mit Status asthmaticus in Betracht, die Sauerstoff über die übliche Sauerstoffsonde hinaus benötigen und/oder nicht auf die initiale Behandlung ansprechen.
- Starke Erschöpfung, Bewusstseinsverschlechterung, schlechte Inspiration, sich verschlechternde Hypoxämie und/oder Hyperkapnie sowie Kreislaufstillstand sind Indikationen für eine endotracheale Intubation. Die kontrollierte Beatmung eines Kindes mit Status asthmaticus ist äußerst herausfordernd. Es muss frühzeitig fachkundige Hilfe hinzugezogen werden. Begrenzen Sie das Atemhubvolumen und die Atemfrequenz und verwenden Sie eine längere Expirationszeit.

Management der Anaphylaxie.

- Die frühzeitige Diagnose einer Anaphylaxie ist entscheidend und maßgeblich für die weitere Behandlung:
 - Akuter Ausbruch der Erkrankung (Minuten bis Stunden) unter Beteiligung der Haut, der Schleimhaut oder beider und mindestens einem der folgenden Symptome:
 - Respiratorische Kompromittierung, z. B. Dyspnoe, Bronchospasmus, Stridor, reduzierter

expiratorischer Spitzenfluss (PEF), Hypoxämie.

– Fallender Blutdruck oder damit verbundene Symptome einer Endorganstörung, z. B. Kollaps, Synkope.

– Schwere gastrointestinale Symptome, insbesondere bei Exposition gegenüber Non-food-Allergenen.

oder

- Akuter Beginn (Minuten bis mehrere Stunden) von Hypotonie, Bronchospasmus oder Kehlkopfbeteiligung nach Exposition gegenüber einem bekannten oder wahrscheinlichen Allergen, auch ohne typische Hautbeteiligung.
- Bei Verdacht auf Anaphylaxie injizieren Sie sofort Adrenalin i.m. in die anterolaterale Mitte des Oberschenkels, nicht subkutan. Danach fahren Sie mit der Versorgung gemäß ABCDE-Konzept fort: Notruf, Atemwege, Sauerstoff, Beatmung, venöser Zugang, wiederholte Flüssigkeitsboli und Applikation vasoaktiver Medikamente.
 - Eine frühe Gabe von Adrenalin i.m. kann auch für mildere allergische Symptome bei Kindern mit Anaphylaxie in der Vorgeschichte in Betracht gezogen werden.
 - Die Dosis für intramuskuläres Adrenalin ist 0,01 mg/kgKG i.m. Dies kann mit einer Spritze (1-mg/ml-Lösung) verabreicht werden. In den meisten Fällen wird jedoch nur ein Adrenalinautoinjektor zur Verfügung stehen: 0,15 mg (< 6 Jahre); 0,3 mg (6–12 Jahre); 0,5 mg (> 12 Jahre).
 - Wenn sich die Symptome nicht schnell bessern, geben Sie nach 5–10 min eine zweite Dosis Adrenalin i.m.
 - Bei refraktärer Anaphylaxie können kompetente Ärzte die Verwendung von Adrenalin i.v. oder i.o. erwägen. Vermeiden Sie Dosierungsfehler.
- Vermeiden Sie jede weitere Exposition gegenüber dem Auslöser. Beim Stich einer Biene entfernen Sie den Stachel so schnell wie möglich.

- Erkennen Sie einen Kreislaufstillstand und starten Sie die Standard-CPR, wenn es notwendig ist. Ersthelfer, die nur Adrenalin i.m. zur Verfügung haben, können erwägen, dies zu geben, wenn der Kreislaufstillstand gerade aufgetreten ist.
- Denken Sie bei Atemproblemen an eine frühe Intubation. Antizipieren Sie Atemwegsödeme. Das Atemwegsmanagement bei Anaphylaxie kann sehr kompliziert sein, deshalb ist die frühzeitige Unterstützung durch sehr kompetente Ärzte obligatorisch.
- Erwägen Sie zusätzlich zu Adrenalin i.m. die Verwendung von:
 - Inhalieren Beta-2-Agonisten (und/oder inhaliertem Adrenalin) beim Bronchospasmus.
 - H₁- und H₂-Antihistaminika i.v. oder oral zur Linderung subjektiver Symptome (insbesondere Hautsymptome).
 - Glukokortikosteroide (z. B. Methylprednisolon 1–2 mg/kgKG) nur für Kinder, die länger beobachtet werden.
 - Spezifische Therapieansätze.
- Nach der Behandlung behalten Sie das Kind wegen möglicher später oder 2-phasiger Symptomatik unter Beobachtung. Kinder, die ohne andere Risikofaktoren gut auf eine Dosis Adrenalin i.m. angesprochen haben, können im Allgemeinen nach 4–8 h entlassen werden. Eine längere Beobachtung (12–24 h) wird für Kinder mit biphasischer oder lang dauernder Anaphylaxie bzw. Asthma in der Anamnese empfohlen, für die, die mehr als eine Dosis Adrenalin benötigten oder bei denen die Verzögerung zwischen den Symptomen und der ersten Adrenalindosis mehr als 60 min betrug.
- Bemühen Sie sich, den möglichen Auslöser zu identifizieren. Nehmen Sie, ohne die Behandlung zu verzögern, bei der Aufnahme und idealerweise 1–2 h später Blutproben für die Mastzelltryptasebestimmung ab. Überweisen Sie die Patienten zur Nachsorge an einen spezialisierten Arzt. Jedem Kind, das eine anaphylaktische Reaktion hatte, soll ein

Adrenalin-Autoinjektor verschrieben werden, und das Kind, falls möglich, sowie Eltern und Betreuer sollen in die Anwendung eingewiesen werden.

Management von Kreislaufversagen.

- Gesundheitssysteme sollen kontextspezifische Protokolle für die Behandlung von Kindern im Schock implementieren, inklusive Strategien zur Früherkennung und zur rechtzeitigen Notfallbehandlung.
- Das Management eines Kindes mit Kreislaufversagen muss unter Berücksichtigung von Ätiologie, Pathophysiologie, Alter, Kontext, Komorbiditäten und verfügbaren Ressourcen auf das Individuum zugeschnitten werden. Der Übergang von einem kompensierten Zustand zu einer Dekompensation kann schnell und unvorhersehbar sein. Kein einzelner Befund kann die Schwere des Kreislaufversagens zuverlässig identifizieren und/oder als Behandlungsziel verwendet werden. Beurteilen Sie häufig und zumindest nach jeder Intervention. Berücksichtigen Sie neben anderen klinischen Symptomen den mittleren arteriellen Druck (MAP), den Verlauf des Laktatpiegels, Urinmenge und, wenn Sie es beherrschen, Sonographiebefunde. Kompetente Ärzte können auch erweiterte hämodynamische Variablen messen wie Cardiac Index, systemischen Gefäßwiderstand und zentralvenöse Sauerstoffsättigung (S_{cv}O₂), dies hat jedoch in der ersten Stunde der Behandlung keine Priorität.
- Die Behandlung eines Kindes mit Kreislaufversagen soll nach dem ABCDE-Konzept immer ein geeignetes Management von Atemweg, Sauerstoffversorgung und Beatmung umfassen.
- Gefäßzugang:
 - Periphere i.v.-Zugänge sind die erste Wahl. Kompetente Ersthelfer setzen möglicherweise die Sonographie für die Kanülierung ein. Im Notfall begrenzen Sie dies auf maximal 2 Versuche in höchstens 5 min. Wenn die Erfolgchancen

gering erscheinen, nutzen Sie früh Alternativen.

- Für Säuglinge und Kinder ist der i.o.-Zugang die erste Alternative. Jeder, zu dessen Aufgaben Advanced Life Support (ALS) für Kinder gehört, soll den i.o.-Zugang beherrschen und regelmäßig mit den verschiedenen Geräten und an verschiedenen Punktionsstellen üben. Sorgen Sie bei jedem Kind für eine angemessene Analgesie, es sei denn, das Kind ist komatös. Verwenden Sie eine Nadel der richtigen Größe. Die meisten Infusionspumpen infundieren nicht über einen i.o.-Zugang. Verwenden Sie daher entweder eine manuelle Infusion oder einen Druckbeutel. Überprüfen Sie die richtige Lage und prüfen Sie auf Extravasate, die ein Kompartmentsyndrom auslösen können.
- Infusionstherapie:
 - Geben Sie bei Kindern im Schock früh Flüssigkeitsboli von 10 ml/kgKG. In der ersten Stunde der Behandlung des (septischen) Schocks können wiederholte Flüssigkeitsboli bis zu 40–60 ml/kgKG erforderlich sein.
 - Evaluieren Sie nach jedem Bolus erneut und geben Sie keine weiteren Boli bei Kindern, bei denen die Zeichen des Perfusionsmangels zurückgehen oder die Symptome einer Flüssigkeitsüberladung bzw. eines kardialen Versagens zeigen. Bewerten Sie klinische Symptome und biochemische Werte und verwenden Sie, wenn möglich, Bildgebung wie Echokardiographie und Lungensonographie, um den Bedarf an zusätzlichen Boli zu ermitteln. Bei wiederholt benötigten Flüssigkeitsboli erwägen Sie frühzeitig vasoaktive Pharmaka und Atemunterstützung. In einem Umfeld, in dem keine Intensivmedizin verfügbar ist, erscheint es ratsam, noch restriktiver zu sein.
 - Verwenden Sie, falls verfügbar, Vollelektrolyte als erste Wahl für Flüssigkeitsboli. Wenn nicht verfügbar, ist Kochsalzlösung eine akzeptable Alternative. Betrachten

Sie Albumin als zweite Wahl für Kinder mit Sepsis, insbesondere bei Malaria oder Dengue-Fieber. Ohne hämorrhagischen Schock werden Blutprodukte nur benötigt, wenn die entsprechenden Werte unter einen akzeptablen Mindestwert fallen.

- Bei Kindern mit hypovolämischem, nicht hämorrhagischem Schock muss die Flüssigkeitsgabe schnell gehen. Andernfalls kann die Flüssigkeitskorrektur bei stark dehydrierten Kindern im Allgemeinen schrittweise verlaufen (bis zu beispielsweise 100 ml/kgKG über 8 h).
 - Geben Sie bei hämorrhagischem Schock nur wenige kristalloide Boli (max. 20 ml/kgKG). Erwägen Sie frühzeitig Blutprodukte oder, falls verfügbar, Vollblut. Die Strategie konzentriert sich bei Kindern mit schwerem Trauma und Kreislaufversagen auf die Verbesserung der Gerinnung, unter Verwendung von mindestens so viel Plasma wie Erythrozytenkonzentraten sowie Blutplättchen, Fibrinogen und anderen Gerinnungsfaktoren. Vermeiden Sie eine Flüssigkeitsüberladung, aber versuchen Sie bis zur endgültigen Verletzungskontrolle und/oder spontaner Hämostase eine ausreichende Gewebepfusion zu erhalten. Permissive Hypotonie (mittlerer arterieller Druck am 5. Perzentil für das Alter) kann nur bei Kindern erwogen werden, bei denen kein Risiko für eine zusätzliche Hirnverletzung besteht.
 - Geben Sie allen Kindern, die nach einem schweren Trauma eine Transfusion benötigen, Tranexamsäure (TxA), in den ersten 3 h nach einer Verletzung und/oder einer signifikanten Blutung. Erwägen Sie TxA bei Kindern mit isoliertem mittelschwerem SHT (GCS 9–13) ohne Pupillenanomalien. Verwenden Sie eine „loading dose“ von 15 bis 20 mg/kgKG (max. 1 g), danach eine Infusion von 2 mg/kgKG/h für mindestens 8 h oder bis die Blutung steht (max. 1 g).
- Vasoaktive/inotrope Pharmaka:
 - Beginnen Sie bei Kindern mit Kreislaufversagen frühzeitig mit der Gabe von vasoaktiven Pharmaka als kontinuierliche Infusion (verdünnt nach lokalem Protokoll) über einen zentralen oder peripheren Zugang mit, wenn sich der klinische Zustand nach mehreren Flüssigkeitsboli nicht bessert. Achten Sie auf die korrekte Verdünnung, Dosierung und Durchführung der Infusion. Verwenden Sie dafür vorzugsweise eine Infusionsleitung mit konstantem Flow, um versehentliche Boli oder plötzliche Dosisänderungen zu vermeiden. Titrieren Sie diese Medikamente auf der Basis eines Ziel-MAP, der sich je nach Pathologie, Alter und Wirkung unterscheiden kann. Auf einer Intensivstation können auch andere hämodynamische Variablen berücksichtigt werden.
 - Verwenden Sie Noradrenalin oder Adrenalin als Inotropika und Vasokonstriktoren der ersten Wahl und Dobutamin oder Milrinon als Inotropika und Vasodilatoren der ersten Wahl. Dopamin soll nur in Betracht gezogen werden, wenn weder Adrenalin noch Noradrenalin verfügbar ist. Jeder, zu dessen Aufgaben Advanced Life Support (ALS) für Kinder gehört, soll kompetent in der Anwendung dieser Medikamente in der ersten Stunde der Stabilisierung eines Kindes mit Kreislaufversagen sein.
 - Verwenden Sie vasoaktive Pharmaka auch bei volumenrefraktärem hypovolämischem Schock, insbesondere wenn der Sympathikus ausgeschaltet ist, z. B. während der Anästhesie oder bei Kindern mit hypovolämischem Schock und gleichzeitiger Hirnverletzung (SHT). Ein ausreichend hoher mittlerer arterieller Druck ist erforderlich, um einen angemessenen zerebralen Perfusionsdruck zu erzielen (z. B. MAP über dem 50. Perzentil). Beurteilen und unterstützen Sie gegebenenfalls die Herzfunktion.
 - Septischer Schock:
 - Erwägen Sie bei Kindern mit septischem Schock, die auf Volumengabe und vasoaktive Therapie nicht ansprechen, unabhängig von biochemischen oder anderen Parametern eine erste Dosis von Hydrokortison (Stressdosis, 1–2 mg/kgKG).
 - Geben Sie auch Hydrokortison in Stressdosis bei Kindern mit septischem Schock mit akuter oder chronischer Kortikosteroidtherapie, mit Störungen der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse, angeborener Nebennierenhyperplasie oder anderen kortikosteroidbedingten Endokrinopathien oder bei Kindern, die kürzlich mit Ketoconazol oder Etomidat behandelt wurden.
 - Beginnen Sie so bald wie möglich nach der initialen Beurteilung anhand des ABCD-Konzepts mit der Gabe von Breitbandantibiotika. Dies bedeutet vorzugsweise innerhalb der ersten Stunde der Behandlung. Entnehmen Sie vor Beginn Blutkulturen (oder Blutproben für die PCR), wenn dies ohne Verzögerung der Therapie möglich ist.
 - Obstruktiver Schock:
 - Ein Spannungspneumothorax erfordert eine sofortige Behandlung durch eine Notfallthorakostomie oder Nadelthorakozentese. Nutzen Sie die Sonographie, um die Diagnose zu bestätigen, wenn dies die Behandlung nicht verzögert. Als primäre Punktionsstelle verwenden Sie für beide Techniken den 4. oder 5. Interkostalraum (ICS) etwas vor der mittleren Axillarlinie. Bei Kindern ist der 2. ICS medioklavikulär eine akzeptable Alternative. Wechseln Sie so bald wie möglich auf eine Thoraxdrainage.
 - Einrichtungen, bei denen keine sofortige Thorakostomie üblich ist, sollen die Thorakostomie zumindest als Notfalloption bei schwerem pädiatrischem Trauma in Betracht ziehen und ihre Mitarbeiter entsprechend schulen.
 - Setzen Sie, falls verfügbar, die Sonographie zur Diagnose der

- Perikardtamponade ein. Eine Tamponade, die zum obstructiven Schock führt, erfordert die sofortige Dekompression durch Perikardiozentese, Thorakotomie oder (Re-)Sternotomie, je nach Umständen und verfügbarem Fachwissen. Abhängig von ihrem Kontext sollen Einrichtungen über entsprechende Protokolle verfügen.
- Instabile primäre Bradykardie:
 - Erwägen Sie Atropin (20 µg/kgKG; max. 0,5 mg pro Dosis) nur bei Bradykardie, die durch einen erhöhten Vagotonus verursacht wird.
 - Ziehen Sie in seltenen Fällen mit Kreislaufversagen aufgrund einer Bradykardie durch einen AV-Block 3. Grades oder eine abnormale Sinusknotenfunktion eine transthorakale Notfallschrittmachtherapie in Betracht. Frühzeitige Expertenhilfe ist obligatorisch.
 - Instabile primäre Tachykardie:
 - Bei Kindern mit Kreislaufdekomensation durch eine supraventrikuläre (SVT) oder ventrikuläre Tachykardie (VT) ist die Therapie der Wahl die sofortige elektrische Kardioversion mit einer Energie von 1 J/kgKG. Verdoppeln Sie die Energie für jeden weiteren Versuch bis maximal 4 J/kgKG. Wenn möglich, sollen Sie dabei auf Expertenhilfe zurückgreifen. Für Kinder, die noch nicht bewusstlos sind, benötigen Sie eine angemessene Analgosedierung nach lokalem Protokoll. Prüfen Sie nach jedem Versuch die Vitalparameter des Kindes.
 - Bei Kindern mit einer vermuteten SVT, die noch nicht dekompensiert ist, können Sie ein Vagusmanöver versuchen (z. B. Eis, modifizierte Valsalva-Techniken). Wenn dies keine unmittelbare Wirkung hat, fahren Sie mit Adenosin i.v. fort. Spülen Sie einen schnellen Bolus von 0,1 bis 0,2 mg/kgKG (max. 6 mg) über eine große Vene mit der Infusion ein. Stellen Sie sicher, dass ein Rhythmusstreifen für eine spätere Expertenbewertung geschrieben wird. Insbesondere

bei jüngeren Kindern sind höhere Anfangsdosen vorzuziehen. Bei persistierender SVT wiederholen Sie Adenosin nach mindestens 1 min in einer höheren Dosis (0,3 mg/kgKG, max. 12–18 mg). Seien Sie vorsichtig mit Adenosin bei Kindern mit bekannter Sinusknotenerkrankung, atrialen Präexitationsarrhythmien, Herztransplantation oder schwerem Asthma. In solchen Fällen oder wenn die Adenosinwirkung nicht anhält, können kompetente Ärzte (mit Expertenhilfe) alternative Medikamente einsetzen.

- Breitkomplextachykardien können VT oder SVT mit Linksschenkelblock oder antegrader Überleitung über eine zusätzliche Leitungsbahn sein. Falls der Ursprung der Arrhythmie nicht vollständig klar ist, soll eine Breitkomplexarrhythmie als VT behandelt werden. Bei einem hämodynamisch stabilen Kind kann die Reaktion auf ein Vagusmanöver einen Hinweis auf den Arrhythmiemechanismus geben und kompetente Ärzte können (mit Expertenhilfe) anschließend eine pharmakologische Therapie versuchen. Auch bei stabilen Patienten soll immer eine elektrische Kardioversion erwogen werden. Bei Torsade-de-pointes-VT ist Magnesium 50 mg/kgKG i.v. indiziert.

Management von „neurologischen“ und anderen medizinischen Notfällen.

Erkennen und behandeln Sie neurologische Notfälle zügig, da sich die Prognose durch Sekundärschäden (z. B. Hypoxie, Hypotonie) und Behandlungsverzögerung verschlechtert. Nach dem ABCDE-Konzept bedeutet das ein adäquates Atemwegsmanagement, eine ausreichende Sauerstoffversorgung und gegebenenfalls Beatmung sowie Flüssigkeitstherapie.

Status epilepticus.

- Identifizieren Sie Differenzialdiagnosen und Auslöser wie Hypoglykämie, Elektrolytstörungen, Intoxikationen, Enzephalitis und neurologische Er-

krankungen ebenso wie systemische Komplikationen, z. B. Atemwegsobstruktion, Hypoxämie oder Schock.

- Wenn Krampfanfälle länger als 5 min anhalten, geben Sie die erste Dosis eines Benzodiazepins. In speziellen Situationen soll eine sofortige Behandlung erwogen werden. Welches Benzodiazepin auf welchem Weg appliziert werden kann, hängt von Verfügbarkeit, Kontext, sozialen Präferenzen und dem Fachwissen der Therapeuten ab. Wenn noch kein i.v.-Zugang liegt, sollen alternative Applikationsformen verwendet werden. Eine angemessene Dosierung ist wichtig. Wir empfehlen:
 - Midazolam
 - i.m. 0,2 mg/kgKG (max. 10 mg) oder Fertigspritzen: 5 mg für 13–40 kgKG, 10 mg > 40 kgKG; intranasal/bukkal 0,3 mg/kgKG; i.v. 0,15 mg/kgKG (max. 7,5 mg).
 - Lorazepam
 - 0,1 mg/kgKG i.v. (max. 4 mg).
 - Diazepam
 - i.v. 0,2–0,25 mg/kgKG (max. 10 mg); rektal 0,5 mg/kgKG (max. 20 mg).
- Wenn die Krämpfe weitere 5 min anhalten, verabreichen Sie eine zweite Dosis Benzodiazepin und bereiten Sie ein lang wirkendes Medikament der zweiten Wahl vor. Suchen Sie Expertenhilfe.
- Spätestens 20 min nach Beginn der Krämpfe geben Sie Antiepileptika der zweiten Wahl. Die Wahl des Pharmakons hängt wiederum von Kontext, Verfügbarkeit und Fachwissen ab. Wieder ist zudem die richtige Dosierung wichtig:
 - Levetiracetam 40–60 mg/kgKG i.v. (neuere Publikationen schlagen eine höhere Dosis vor; max. 4,5 g, über 15 min).
 - Phenytoin 20 mg/kgKG i.v. (max. 1,5 g über 20 min; oder alternativ Phosphenytoin).
 - Valproinsäure 40 mg/kgKG i.v. (max. 3 g über 15 min); geben Sie Valproinsäure **nicht** bei vermutetem Lebersversagen oder Stoffwechselerkrankungen, die bei Säuglingen und jüngeren Kindern niemals ausgeschlossen werden

können, sowie bei schwangeren Teenagern.

- Phenobarbital 20 mg/kgKG über 20 min i.v. ist eine sinnvolle Second-line-Alternative, wenn keines der 3 empfohlenen Pharmaka verfügbar ist.
- Wenn die Krämpfe anhalten, ziehen Sie ein zusätzliches Medikament der zweiten Wahl in Betracht, nachdem das erste Medikament der zweiten Wahl verabreicht wurde.
- Spätestens 40 min nach Beginn der Krämpfe soll (von einem Fachmann) eine Anästhesie mit Midazolam, Ketamin, Pentobarbital/Thiopental oder Propofol in Betracht gezogen werden, vorzugsweise unter kontinuierlicher EEG-Überwachung. Sorgen Sie für eine angemessene Unterstützung der Oxygenierung, Belüftung und Perfusion.
- Der nichtkonvulsive Status epilepticus kann nach Beendigung der klinischen Krämpfe fortbestehen. Alle Kinder, die das Bewusstsein nicht vollständig wiedererlangen, benötigen eine EEG-Überwachung und eine angemessene Therapie.

Hypoglykämie.

- Erkennen Sie eine Hypoglykämie anhand der Situation, der klinischen Symptome und der Ergebnisse der Blutzuckermessung (50–70 mg/dl; 2,8–3,9 mmol/l) und behandeln Sie diese umgehend. Identifizieren und behandeln Sie auch die Ursache. Bei bestimmten Stoffwechselerkrankungen kann eine spezielle Anpassung der i.v.-Glukoseerhaltungsdosis indiziert sein.
- Eine leichte asymptomatische Hypoglykämie kann entweder durch langsame Glukoseinfusion (6–8 mg/kgKG/min i.v.) oder durch schnell wirkende Glukose oral (0,3 g/kgKG Tabletten oder Äquivalent) behandelt werden. Anschließend werden zusätzliche Kohlenhydrate benötigt, um ein Wiederauftreten der Hypoglykämie zu verhindern.
- Eine schwere pädiatrische Hypoglykämie (<50 mg/dl bzw. 2,8 mmol/l) mit neuroglykopenischen Symptomen erfordert:

- Glukose-i.v.-Bolus 0,3 g/kgKG: vorzugsweise als 10%ige (100 mg/ml; 3 ml/kgKG) oder 20%ige Lösung (200 mg/ml; 1,5 ml/kgKG).
- Wenn keine Glukose i.v. verfügbar ist, Glukagon zur Überbrückung verabreichen, entweder i.m. oder s.c. (0,03 mg/kgKG oder 1 mg > 25 kgKG; 0,5 mg < 25 kgKG) oder intranasal (3 mg; 4- bis 16-Jährige).
- Prüfen Sie den Blutzucker 10 min nach der Behandlung erneut und wiederholen Sie die Behandlung, wenn die Wirkung nicht reicht. Vernünftige Ziele sind ein Anstieg von mindestens 50 mg/dl (2,8 mmol/l) und/oder ein Zielwert von 100 mg/dl (5,6 mmol/l).
- Dosieren Sie die i.v.-Glukoseerhaltungsinfusion mit 6–8 mg/kgKG/min, um den Katabolismus rückgängig zu machen und ausreichende Blutzucker zu erhalten.

Hypokaliämie.

- Bei schwerer Hypokaliämie (<2,5 mmol/l) bei drohendem Kreislaufstillstand geben Sie dem Kind unter Monitorüberwachung über mindestens 20 min i.v.-Kaliumboli von 1 mmol/kgKG (max. 30 mmol) und wiederholen die Gabe, bis das Serumkalium über 2,5 mmol/l liegt. Vermeiden Sie eine ungewollte Hyperkaliämie. Geben Sie zusätzlich Magnesium 30–50 mg/kgKG i.v.
- In allen anderen Fällen wird eine orale Kaliumgabe bevorzugt, wenn sie toleriert wird. Die Dosis soll vom klinischen Bild, dem gemessenen Wert und dem geschätzten Verlust bestimmt werden.

Hyperkaliämie.

- Um den Schweregrad der Hyperkaliämie zu bewerten, berücksichtigen Sie den Kaliumwert im Kontext der zugrunde liegenden Ursache, der beitragenden Faktoren sowie kaliumbedingter EKG-Veränderungen. Beseitigen oder behandeln Sie die zugrunde liegenden Ursachen und Faktoren so schnell wie möglich.
- Passen Sie die Notfallbehandlung individuell an das Kind an. Ziehen Sie frühzeitig Experten hinzu. Bei

Kindern mit akuter symptomatischer lebensbedrohlicher Hyperkaliämie geben Sie:

- Kalzium (z. B. Kalziumglukonat 10% 0,5 ml/kgKG max. 20 ml) zur Membranstabilisierung. Dies wirkt innerhalb von Minuten und der Effekt hält 30–60 min an.
- Schnell wirkendes Insulin mit Glukose zur Umverteilung von Kalium, es wirkt nach etwa 15 min, erreicht nach 30–60 min die maximale Wirkung und hält 4–6 h an (z. B. 0,1 U/kgKG Insulin als 1 IE Insulin in 25 ml Glukose 20% Lösung). Eine wiederholte Dosierung kann erforderlich sein. Bei einem Glukosespiegel von >250 mg/dl (13,9 mmol/l) ist anfangs keine Glukose erforderlich. Um eine Hypoglykämie zu vermeiden, setzen Sie nach der Behandlung der Hyperkaliämie die Glukoseerhaltungsinfusion ohne Insulin fort. Überwachen Sie den Blutzuckerspiegel.
- Hoch dosierte vernebelte Betaagonisten (z. B. 5-fache Bronchodilationsdosis); beachten Sie jedoch, dass die maximale Wirkung erst nach 90 min erreicht wird.
- Natriumbikarbonat 1 mmol/kgKG i.v. (gegebenenfalls wiederholt) bei metabolischer Azidose (pH <7,2) und/oder Kreislaufstillstand. Die Wirkung von Natriumbikarbonat ist langsam (Stunden).
- Setzen Sie die Kaliumumverteilungstherapie fort, bis die Kaliumelimination greift. Die Kaliumelimination kann durch Kaliumbindemittel, Furosemid (bei gut hydrierten Kindern mit erhaltener Nierenfunktion) und/oder Dialyse erfolgen.

Hyperthermie.

- Bei Hitzschlag, d. h. einer zentralen Körpertemperatur $\geq 40\text{--}40,5^\circ\text{C}$ mit Funktionsstörung des Zentralnervensystems (ZNS):
 - Messen Sie die zentrale Körpertemperatur so schnell wie möglich (rektal, ösophageal, in der Blase, intravaskulär).
 - Die präklinische Behandlung besteht aus einer vollständigen Un-

tersuchung gemäß dem ABCDE-Konzept, entsprechenden Maßnahmen und einer schnellen aggressiven Kühlung. Bringen Sie das Kind aus der Hitze. Ziehen Sie es aus und vernebeln Sie feuchte kalte Luft. Legen Sie Eisbeutel auf. Verwenden Sie frühzeitig Verdunstungskälte. Erwägen Sie bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen Immersion in kaltes Wasser.

- Die weitere Kühlung im Krankenhaus kann durch eine Kühldecke, durch Eispackungen auf dem Hals, in der Achselhöhle und Leiste oder alternativ auf der glatten Haut von Wangen, Handflächen und Fußsohlen erreicht werden sowie durch i.v.-Infusion von Kristalloiden mit Raumtemperatur. Stoppen Sie die Kühlmaßnahmen, sobald die Kerntemperatur 38 °C erreicht hat. Benzodiazepine werden empfohlen, um Shivering, Zittern oder Krampfanfälle während der Abkühlungsmaßnahmen zu vermeiden. Klassische fiebersenkende Medikamente sind unwirksam.
- Alle Kinder mit Hitzschlag sollen auf eine (pädiatrische) Intensivstation aufgenommen werden, um ein ausreichendes Monitoring zu gewährleisten und die damit verbundene Organfunktionsstörung zu behandeln.

Basismaßnahmen zur Reanimation von Kindern

Die Reihenfolge der pädiatrischen Basismaßnahmen (PBLs) hängt vom Ausbildungsstand des Ersthelfers ab: Ersthelfer, die PBLs (Abb. 16 bevorzugter Algorithmus) beherrschen, Ersthelfer, die nur in „Erwachsenen-BLS“ geschult sind, und Ersthelfer ohne Ausbildung (vom Leitstellendisponenten angeleitete Notfallzeugen).

Reihenfolge der Aktionen in PBLs.

- Sorgen Sie für die Sicherheit von Ersthelfer und Kind. Überprüfen Sie die Reaktion des Kindes auf verbale und taktile Stimulation. Bitten Sie Umstehende um Hilfe.

- Wenn das Kind nicht reagiert, öffnen Sie die Atemwege und beurteilen Sie die Atmung nicht länger als 10 s lang.
 - Wenn Sie Schwierigkeiten haben, die Atemwege durch Halsüberstrecken oder Kinnheben zu öffnen oder speziell bei Trauma, verwenden Sie den Esmarch-Handgriff. Wenn nötig, halten Sie den Hals vorsichtig überstreckt, bis die Atemwege geöffnet sind.
 - In den ersten Minuten nach einem Atem-Kreislauf-Stillstand kann das Kind weiterhin langsame, einzelne Seufzer zeigen (Schnappatmung). Wenn Sie Zweifel haben, ob die Atmung normal ist, handeln Sie so, als wäre sie *nicht* normal.
 - Achten Sie auf Atembemühungen, hören und fühlen Sie den Luftstrom aus Nase und/oder Mund. Wenn es Atembemühungen gibt, aber keinen Luftstrom, ist der Atemweg nicht offen.
 - In Fällen, in denen es mehrere Ersthelfer gibt, soll ein zweiter Ersthelfer sofort nach Erkennung der Bewusstlosigkeit den Rettungsdienst alarmieren, vorzugsweise über die Lautsprecherfunktion eines Mobiltelefons.
 - Wenn das Kind nicht reagiert und keine normale Atmung hat: Geben Sie 5 initiale Atemspenden.
 - Achten Sie bei Säuglingen auf eine neutrale Lage des Kopfs. Bei älteren Kindern ist eine stärkere Neigung des Kopfs erforderlich (Hals überstrecken).
 - Atmen Sie etwa 1 s lang gleichmäßig in den Mund des Kindes oder in den Mund und die Nase des Säuglings aus, sodass sich die Brust sichtbar hebt.
 - Wenn Sie Schwierigkeiten haben, eine effektive Atemspende zu erreichen, kann der Atemweg verlegt sein (siehe unten): Entfernen Sie sichtbare Hindernisse, wischen Sie den Mund jedoch nicht blind mit dem Finger aus. Lagern Sie den Kopf neu oder korrigieren Sie das Öffnen der Atemwege. Versuchen Sie bis zu fünfmal effektiv zu beatmen. Sind Sie erfolglos, gehen Sie zu Thoraxkompressionen über.
 - Kompetente Anwender sollen, wenn möglich, statt der Atemspende eine Beutel-Maske-Beatmung (BMV) mit Sauerstoff durchführen. Bei größeren Kindern können kompetente Anwender, wenn keine BMV verfügbar ist, auch eine Taschenmaske zur Atemspende verwenden.
 - Wenn nur ein Ersthelfer mit einem Mobiltelefon vor Ort ist, soll dieser unmittelbar nach den initialen Atemspenden zuerst alarmieren, hierzu die Lautsprecherfunktion des Mobiltelefons aktivieren. Fahren Sie mit dem nächsten Schritt fort, während Sie auf eine Antwort warten. Wenn kein Telefon verfügbar ist, führen Sie eine Minute lang Reanimationsmaßnahmen durch, bevor Sie das Kind allein lassen.
 - Wenn PBLs-Anwender nicht mit der Atemspende beginnen können oder wollen, sollen diese sofort mit Thoraxkompressionen beginnen und Beatmungen so bald wie möglich in den Ablauf einbauen.
- Fahren Sie mit 15 Thoraxkompressionen fort, es sei denn, es gibt deutliche Zeichen eines Kreislaufs (wie Bewegen, Husten). Konzentrieren Sie sich auf gleichbleibend gute Thoraxkompressionen, definiert durch:
 - Frequenz: 100–120/min für Säuglinge und Kinder.
 - Tiefe: Komprimieren Sie die untere Hälfte des Brustbeins um mindestens ein Drittel des anteroposterioren Durchmessers des Brustkorbs. Die Thoraxkompressionen sollen niemals tiefer sein als die 6-cm-Grenze für Erwachsene, d. h. etwa die Daumenlänge eines Erwachsenen.
 - Entlastung: Sie dürfen sich nicht aufstützen. Nehmen Sie zwischen den Kompressionen den Druck komplett vom Brustkorb und lassen Sie eine vollständige Expansion des Brustkorbs zu.
- Führen Sie, wenn möglich, die Thoraxkompressionen auf einer harten Unterlage durch. Wechseln Sie den Ort nur, wenn dies zu deutlich besseren CPR-Bedingungen (Oberfläche, Zugänglichkeit) führt.

Ziehen Sie Kleidung nur aus, wenn sie die Thoraxkompressionen stark behindert.

Verwenden Sie bei Säuglingen vorzugsweise die 2-Daumen-Thoraxkompression unter Umfassen der Brust. Achten Sie darauf, komplett zu entlasten. Sind Sie allein können Sie alternativ die 2-Finger-Technik verwenden.

Verwenden Sie bei Kindern über 1 Jahr je nach Größe entweder eine 1-Hand- oder eine 2-Hand-Technik abhängig von der eigenen Handgröße. Wenn mit einer Hand gedrückt wird, kann man mit der anderen Hand die Atemwege offen halten (oder den Kompressionsarm am Ellbogen stabilisieren).

- Auf 15 Kompressionen sollen 2 Atemspenden folgen und dann abwechseln (15:2-Zyklus). Unterbrechen Sie die CPR nie, es sei denn, es gibt deutliche Anzeichen von Kreislauf (Bewegung, Husten) oder wenn Sie erschöpft sind. Zwei oder mehr Ersthelfer sollen sich bei den Thoraxkompressionen abwechseln, jeder der beiden Ersthelfer soll zwischen den Händen wechseln (die komprimierende und die darauf liegende Hand) oder bei der Technik (1- vs. 2-händig), um Erschöpfung zu vermeiden.
- Wenn es deutliche Lebenszeichen gibt, das Kind jedoch bewusstlos bleibt und nicht normal atmet, unterstützen Sie die Beatmung weiterhin mit einer altersgerechten Frequenz.

Ersthelfer, die nur in Erwachsenen-BLS ausgebildet wurden. Wer nicht in PBLs geschult ist, soll den CPR-Algorithmus für Erwachsene inklusive Atemspende befolgen und die Technik der Größe des Kindes anpassen. Wer es gelernt hat, soll daran denken, zunächst 5 Atemspenden zu geben, bevor er mit der Thoraxkompression beginnt.

Ungeschulte Laienhelfer.

- Der Kreislaufstillstand wird aufgrund der Kombination von Bewusstlosigkeit und nichtnormaler Atmung festgestellt. Da Letztere oft schwer festzustellen ist oder wenn Sicherheitsbedenken (z. B. zum Risiko einer Virusübertragung) bestehen, können

sich Notfallzeugen statt durch Sehen-Hören-Fühlen, auch von spezifischen Beschreibungen (Telefon-CPR) oder vom Fühlen nach Atembewegungen leiten lassen.

- CPR soll in jedem Fall durch Laienhelfer gestartet werden, wenn dies möglich ist. Der Leitstellendisponent spielt eine entscheidende Rolle bei der Unterstützung von nicht-geschulten Notfallzeugen, um den Kreislaufstillstand zu erkennen und die CPR zu beginnen. Wenn zum Zeitpunkt des Notrufs bereits CPR durch Notfallzeugen durchgeführt wird, sollen Disponenten Anweisungen nur erteilen, wenn sie darum gebeten werden oder wenn Probleme bei Kenntnissen oder Fähigkeiten auffallen.
- Die Schritte des Algorithmus für Disponenten bei pädiatrischer CPR sind dem PBLs-Algorithmus sehr ähnlich. Um die Zahl der Wechsel zu verringern, kann das 30:2 Verhältnis vorzuziehen sein. Wenn die Notfallzeugen keine Atemspende beherrschen, sollen sie mit Thoraxkompressionen beginnen.

Verwendung eines automatisierten externen Defibrillators (AED).

- Bei Kindern mit einem Kreislaufstillstand soll ein Ersthelfer, der allein ist, sofort mit der CPR beginnen, wie oben beschrieben. In Fällen, in denen die Wahrscheinlichkeit eines primär schockbaren Rhythmus sehr hoch ist, wie z. B. bei einem plötzlichen Kollaps, kann er schnell einen AED holen und anlegen (zum Zeitpunkt der Alarmierung des Rettungsdienstes), sofern der AED leicht zugänglich ist. Wenn mehr als ein Ersthelfer da ist, wird der zweite Ersthelfer sofort den Notruf absetzen und dann einen AED holen und anlegen.
- Geschulte Anwender sollen die No-flow-Zeit bei Verwendung eines AED begrenzen, indem sie die CPR unmittelbar nach der Schockabgabe oder der „Kein-Schock“-Entscheidung wieder starten. Die Pads sollen mit minimaler oder ohne Unterbrechung der CPR aufgeklebt werden.

- Verwenden Sie bei Säuglingen und Kindern unter 8 Jahren nach Möglichkeit einen AED mit Dosisanpassung. Wenn dies nicht verfügbar ist, verwenden Sie für alle Altersgruppen einen Standard-AED.

PBLs bei traumatischem Kreislaufstillstand (TCA).

- Beginnen Sie als Notfallzeuge mit CPR, wenn Sie mit einem Kind im Kreislaufstillstand nach einem Trauma konfrontiert werden, sofern es Ihre Sicherheit zulässt. Versuchen Sie, die Bewegung der Wirbelsäule während der CPR, so gering wie möglich zu halten, ohne die Reanimationsmaßnahmen zu behindern, welche eindeutig Priorität haben.
- Wenden Sie bei einem traumatischen Kreislaufstillstand am Notfallort nicht routinemäßig einen AED an, es sei denn, es besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit für einen schockbaren zugrunde liegenden Rhythmus, z. B. nach einem Stromschlag.
- Üben Sie direkten Druck aus, um massive äußere Blutungen zu stoppen, wenn möglich mit hämostatischen Verbänden. Verwenden Sie bei unkontrollierbaren, lebensbedrohlichen äußeren Blutungen ein Tourniquet, vorzugsweise ein handelsübliches, sonst improvisiert.

Seitenlage.

- Bei bewusstlosen Kindern, die sich nicht in Kreislaufstillstand befinden und eindeutig normal atmen, können die Atemwege entweder durch fortgesetzte Überstreckung des Halses mit Anheben des Kinns oder den Esmarch-Handgriff offen gehalten werden oder, insbesondere wenn das Risiko des Erbrechens besteht, durch Lagerung des bewusstlosen Kindes in der Seitenlage.
- In der Seitenlage überprüfen Sie die Atmung jede Minute neu, um einen Kreislaufstillstand sofort zu erkennen. Laienhelfer müssen möglicherweise dazu vom Disponenten angeleitet werden.
- Vermeiden Sie jeglichen Druck auf die Brust des Kindes, der die Atmung beeinträchtigen könnte, und

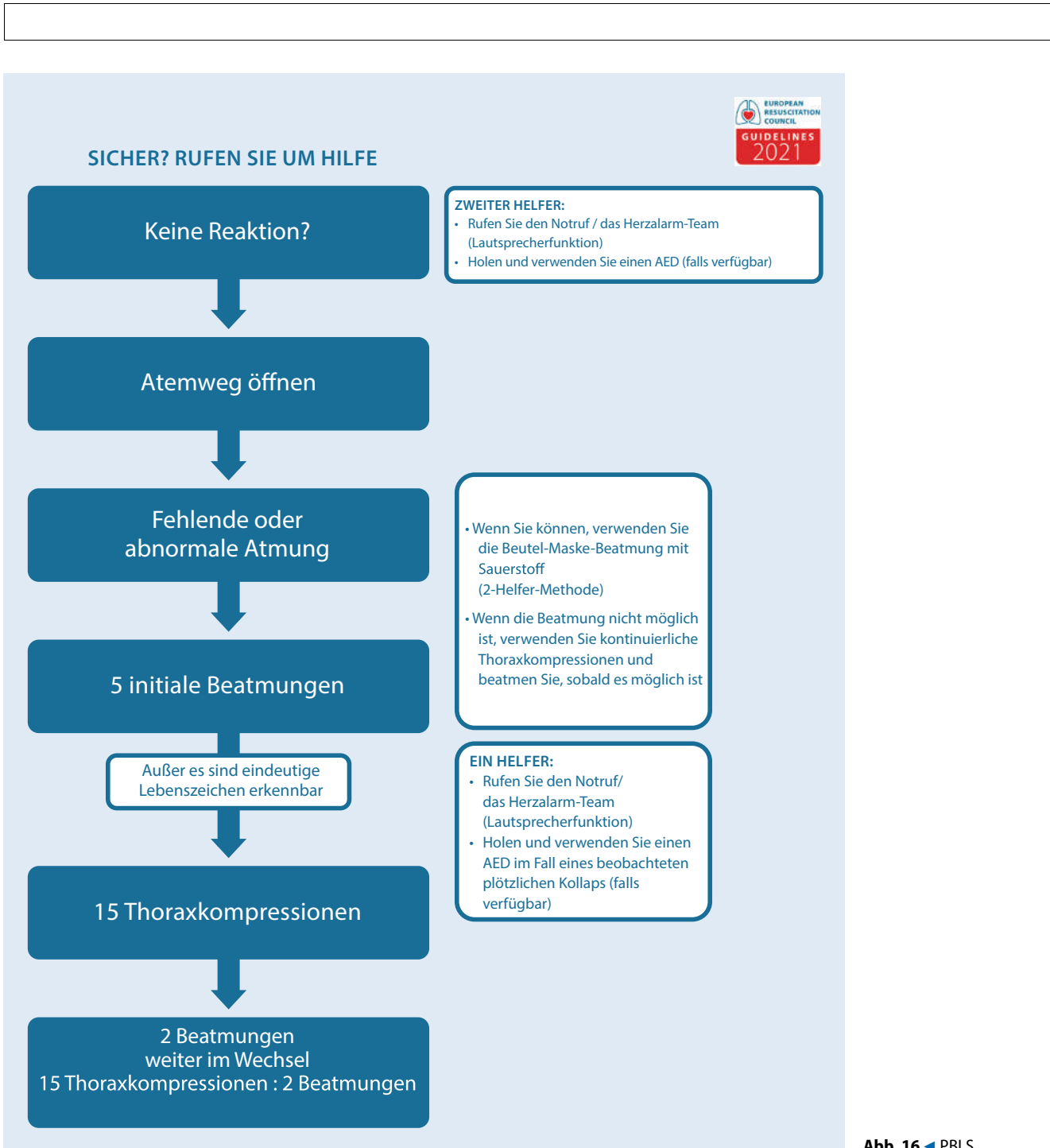


Abb. 16 ◀ PBL5

wechselln Sie regelmäßig (etwa alle 30 min) die Seite, um Druckstellen zu vermeiden.

- Bei bewusstlosen Traumapatienten öffnen Sie den Atemweg mit dem Esmarch-Handgriff und achten Sie dabei darauf, eine Rotation der Wirbelsäule zu vermeiden.

Fremdkörperaspiration/Atemwegs-obstruktion beim Kind (FBAO).

- Gehen Sie von einer Fremdkörperverletzung aus, wenn der Symptombeginn sehr plötzlich war, keine anderen Krankheitszeichen vorliegen und es anamnestische Hinweise dafür gibt, z. B. wenn das Kind unmittelbar zuvor gegessen oder mit kleinen Gegenständen gespielt hat.
- Solange das Kind effektiv hustet (voll ansprechbar, lauter Husten, vor dem Husten Luft holt, weint oder spricht), ist kein Eingreifen

erforderlich. Ermuntern Sie das Kind weiter zu husten und überwachen Sie es kontinuierlich.

- Wenn der Husten des Kindes ineffektiv wird (abnehmendes Bewusstsein, leiserer Husten, Unfähigkeit zu atmen oder zu sprechen, Zyanose), bitten Sie Notfallzeugen um Hilfe und bestimmen Sie den Bewusstseinsgrad des Kindes. Ein zweiter Retter soll den Rettungsdienst alarmieren, vorzugsweise per Mobiltelefon

(Lautsprecherfunktion). Wenn Sie allein sind, fahren Sie zuerst mit den Maßnahmen fort, es sei denn, Sie können gleichzeitig mit aktivierter Lautsprecherfunktion anrufen.

- Wenn das Kind noch bei Bewusstsein ist, aber unwirksam hustet, wenden Sie „Schläge auf den Rücken“ an. Falls Schläge auf den Rücken die Fremdkörperverletzung nicht beseitigen, führen Sie bei Säuglingen Thorax- und bei Kindern abdominelle Kompressionen durch. Wenn der Fremdkörper nicht ausgestoßen wurde und der Patient noch bei Bewusstsein ist, setzen Sie die Abfolge von Rückenschlägen und Brustkompressionen (für Säuglinge) oder abdominellen Kompressionen (für Kinder) fort. Lassen Sie das Kind nicht allein.
- Ziel ist, das Hindernis mit einem einzelnen Stoß zu beseitigen, statt viele davon zu benötigen.
- Falls der Fremdkörper erfolgreich ausgestoßen wurde, beurteilen Sie den klinischen Zustand des Kindes. Es ist möglich, dass ein Teil des Fremdkörpers in den Atemwegen verblieben ist und Komplikationen verursacht. Im Zweifel oder wenn das Kind mit abdominellen Kompressionen behandelt wurde, ist eine sofortige medizinische Nachsorge obligatorisch.
- Wenn das Kind mit Bolusgeschehen bzw. Fremdkörperaspiration bewusstlos ist oder wird, fahren Sie nach dem pädiatrischen BLS-Algorithmus fort. Kompetente Anwender sollen die Verwendung einer Magill-Zange erwägen, um Fremdkörper zu entfernen.

Erweiterte Maßnahmen zur Reanimation von Kindern (EPALS)

Reihenfolge der Aktionen in EPALS. Obwohl die Aktionen schrittweise dargestellt werden (Abb. 17 EPALS), handelt es sich bei EPALS um Teamarbeit, mehrere Interventionen werden parallel durchgeführt. ALS-Teams sollen nicht nur Kenntnisse und Fähigkeiten trainieren, sondern auch Teamwork und die „Choreographie“ von EPALS-Interventionen.

- Beginnen und/oder fahren Sie mit dem pädiatrischen BLS (PBLs) fort. Der Kreislaufstillstand kann klinisch oder basierend auf überwachten Vitalfunktionen (EKG, Fehlen des S_pO_2 - und/oder $etCO_2$ -Signals, kein Blutdruck usw.) erkannt werden. Beginnen Sie CPR auch bei Kindern, die trotz ausreichender Atemunterstützung bradykard werden und Anzeichen einer sehr geringen Perfusion zeigen.
- Falls nicht bereits angelegt, etablieren Sie so bald wie möglich kardiales Monitoring mit EKG-Elektroden oder selbstklebenden Defibrillator-Pads (oder Defibrillationspaddeln). Unterscheiden Sie zwischen schockbaren und nicht-schockbaren Herzrhythmen.
 - Nichtschockbare Rhythmen sind pulslose elektrische Aktivität (PEA), Bradykardie und Asystolie. Wenn Bradykardie (<60 /min) das Ergebnis von Hypoxie oder Ischämie ist, ist eine CPR erforderlich, auch wenn noch ein Puls tastbar ist. Daher sollen Ersthelfer eher Vitalzeichen bewerten und keine Zeit damit verlieren, nach einem Puls zu suchen. Wenn keine Vitalzeichen vorhanden sind, setzen Sie die hochwertige CPR fort. Etablieren Sie einen Gefäßzugang und geben Sie so bald wie möglich Adrenalin i.v. ($10 \mu\text{g}/\text{kgKG}$, max. 1 mg). Spülen Sie anschließend mit Infusionslösung, um das Medikament einzuschwemmen. Wiederholen Sie die Adrenalintherapie alle 3–5 min. In Fällen, in denen es wahrscheinlich schwierig wird, einen i.v.-Zugang zu erhalten, wählen Sie primär den i.o.-Zugang.
 - Schockbare Rhythmen sind die pulslose ventrikuläre Tachykardie (pVT) und Kammerflimmern (VF). Sobald diese festgestellt sind, soll sofort eine Defibrillation versucht werden (unabhängig von der EKG-Amplitude). Wenn Sie Zweifel haben, betrachten Sie den Rhythmus als schockbar. Wenn Sie selbstklebende Pads verwenden, setzen Sie die Thoraxkompression fort, während der Defibrillator lädt. Unterbrechen Sie nach dem Laden die Thoraxkompression und stellen Sie sicher, dass kein Ersthelfer Körperkontakt zum Kind hat. Minimieren Sie die Verzögerung zwischen der Unterbrechung der Thoraxkompression und der Abgabe des Schocks (<5 s). Geben Sie einen Schock ($4 \text{ J}/\text{kgKG}$) und setzen Sie die CPR sofort fort. Überprüfen Sie den Herzrhythmus alle 2 min (nach dem letzten Schock) und geben Sie einen weiteren Schock ($4 \text{ J}/\text{kgKG}$), wenn der schockbare Rhythmus anhält. Geben Sie unmittelbar nach dem dritten Schock Adrenalin ($10 \mu\text{g}/\text{kgKG}$, max. 1 mg) und Amiodaron ($5 \text{ mg}/\text{kgKG}$, max. 300 mg) i.v./i.o. Spülen Sie jedes Medikament ein. Lidocain i.v. ($1 \text{ mg}/\text{kgKG}$) kann von Ersthelfern, die seine Anwendung beherrschen, als Alternative zu Amiodaron verwendet werden. Geben Sie nach dem 5. Schock eine zweite Dosis Adrenalin ($10 \mu\text{g}/\text{kgKG}$, max. 1 mg) und Amiodaron ($5 \text{ mg}/\text{kgKG}$, max. 150 mg), wenn das Kind noch einen schockbaren Rhythmus hat. Danach soll Adrenalin alle 3–5 min wiederholt werden.
 - Wechseln Sie den Ersthelfer, der die Kompressionen durchführt, mindestens alle 2 min aus. Achten Sie auf Erschöpfung und/oder suboptimale Kompressionen und wechseln Sie bei Bedarf früher.
 - Die CPR soll fortgesetzt werden, es sei denn:
 - a. Bei der Rhythmusprüfung wird ein organisierter potenziell perfundierender Rhythmus erkannt und von Anzeichen einer Rückkehr des Spontankreislaufs (ROSC) begleitet. Der ROSC soll klinisch (Augenöffnung, Bewegung, normale Atmung) und/oder apparativ (endtidales Kohlendioxid $etCO_2$, Sauerstoffsättigung S_pO_2 , Blutdruckmessung, Ultraschalluntersuchung) beurteilt werden.
 - b. Es gibt definierte Kriterien für den Abbruch der Wiederbelebung (siehe Kapitel ERC-Leitlinien zur

Ethik).

Defibrillation während des pädiatrischen ALS. Manuelle Defibrillation ist die empfohlene Methode beim EPALS. Wenn diese jedoch nicht sofort verfügbar ist, kann alternativ ein AED verwendet werden.

- Verwenden Sie 4 J/kgKG als Standardenergiedosis für die Schockabgabe. Es erscheint sinnvoll, keine Dosis zu verwenden, die über der für Erwachsene empfohlenen liegt (120–200 J, abhängig vom Defibrillatortyp). Erwägen Sie bei refraktärem VF/pVT (d. h. es sind mehr als 5 Defibrillationen erforderlich), die Dosis zu erhöhen, schrittweise bis zu 8 J/kgKG oder max. 360 J.
- Die Defibrillation mittels selbstklebender Pads ist Standard geworden. Wenn Pads nicht verfügbar sind, wird die Verwendung von Paddels (mit Gelkissen) immer noch als akzeptable Alternative angesehen, diese erfordert jedoch spezifische Änderungen an der „Choreographie“ der Defibrillation. Der Defibrillator soll dann mit aufgesetzten Paddels geladen werden, dabei sollen die Thoraxkompressionen unterbrochen werden. Eine gute Planung vor jeder Aktion minimiert die „Hands-off“-Zeit.

Die Pads sollen entweder anterolateral (AL) oder anteroposterior (AP) positioniert werden. Vermeiden Sie Kontakt zwischen den Pads, da dies zu einer Lichtbogenbildung führen kann. In der AL-Position wird ein Pad unter dem rechten Schlüsselbein und das andere unter der linken Achselhöhle platziert. In der AP-Position wird das vordere Pad in der Mitte der Brust unmittelbar links vom Brustbein und das hintere in der Mitte des Rückens zwischen den Schulterblättern platziert.

Sauerstoffversorgung und Beatmung während des pädiatrischen ALS.

- Oxygenieren und beatmen Sie mit Beutel-Maske-Beatmung mit maximaler inspiratorischer Sauerstoffkonzentration (100 %). Titrieren Sie

die inspiratorische Sauerstofffraktion (F_{iO_2}) während der CPR nicht.

- Erwägen Sie erweiterte Atemwegssicherung (Endotrachealtubus, SGA) für einen Transport unter CPR oder eine längere Wiederbelebung, wenn ein kompetenter Ersthelfer anwesend ist. Wenn eine Beatmung durch Beutel-Maske-Beatmung nicht möglich ist, ziehen Sie frühzeitig eine erweiterte Atemwegssicherung in Betracht. Überwachen Sie eine erweiterte Atemwegssicherung durch $etCO_2$ -Monitoring.
- Vermeiden Sie immer eine Hyperventilation (durch zu hohe Atemfrequenz und/oder zu hohes Atemzugvolumen). Achten Sie jedoch auch darauf, dass während der Thoraxkompressionen die Lungen adäquat belüftet werden. Das Atemzugvolumen kann anhand der Thoraxhebung geschätzt werden.
- Bei CPR mit Überdruckbeatmung über einen Endotrachealtubus kann die Beatmung asynchron und die Thoraxkompression kontinuierlich sein (nur alle 2 min zur Rhythmusprüfung pausieren). In diesem Fall sollen sich die Beatmungen an der unteren Grenze der normalen altersspezifischen Atemfrequenz orientieren, z. B. Beatmungen pro Minute: 25/min (Säuglinge), 20/min (> 1 Jahr), 15/min (> 8 Jahre), 10/min (> 12 Jahre).
- Bei Kindern, die bereits an einem Beatmungsgerät beatmet werden, kann man entweder das Beatmungsgerät diskonnektieren und mit einem selbstfüllenden Beutel beatmen oder mit dem Beatmungsgerät weiter beatmen. Stellen Sie im letzteren Fall sicher, dass sich das Beatmungsgerät in einem volumengesteuerten Modus befindet, dass Trigger und Grenzwerte deaktiviert sind und Frequenz, Atemzugvolumen und inspiratorische Sauerstofffraktion (F_{iO_2}) für die CPR geeignet sind. Es gibt keine Evidenz für ein bestimmtes PEEP-Niveau während der CPR.
Cave: Eine Funktionsstörung des Beatmungsgeräts kann selbst Ursache eines Kreislaufstillstands sein.
- Sobald ein dauerhafter ROSC eintritt, titrieren Sie die inspiratorische Sauerstofffraktion (F_{iO_2}) auf eine Sauerstoffsättigung (S_pO_2) von 94 bis 98 %. Kinder, die das Bewusstsein nicht wiedererlangen oder bei denen andere klinische Indikationen bestehen, sollen durch kompetente Anwender eine erweiterte Atemwegssicherung erhalten, falls dies noch nicht geschehen ist.

Monitoring während EPALS.

- Die Kapnographie ist für die Überwachung der Tubuslage obligatorisch. Sie erlaubt jedoch keine Identifizierung einer einseitigen bronchialen Intubation. Während der CPR kann sie helfen, einen ROSC schnell zu erkennen. $etCO_2$ -Werte sollen aber weder als Qualitätsindikator oder Ziel noch als Indikation für oder gegen die Fortsetzung der Reanimationsmaßnahmen verwendet werden.
- Eine invasive Blutdruckmessung soll nur von kompetenten Ersthelfern bei einem Kreislaufstillstand im Krankenhaus (IHCA) angestrebt werden, und nur, wenn bei dem betroffenen Kind bereits ein arterieller Zugang vorhanden ist. Blutdruckwerte sollen nicht für die Prognoseerstellung verwendet werden.
- Point-of-Care-Ultraschall kann von kompetenten Ersthelfern verwendet werden, um reversible Ursachen für den Kreislaufstillstand zu identifizieren. Der Einsatz darf die „Hands-off“-Zeit nicht verlängern und die Qualität der CPR nicht beeinträchtigen. Die Bildgebung erfolgt am besten in Pausen zur Rhythmusprüfung und/oder zur Beatmung. Das Team soll planen und antizipieren (Choreographie), um die verfügbaren Sekunden optimal auszunutzen.
- Point-of-Care-Serumwerte (z. B. Kalium, Laktat, Glukose etc.) können reversible Ursachen für einen Kreislaufstillstand identifizieren, sollen jedoch nicht zur Prognosestellung verwendet werden. Ersthelfer sollen sich bewusst sein, dass die gemessenen Werte je nach Messtechnik

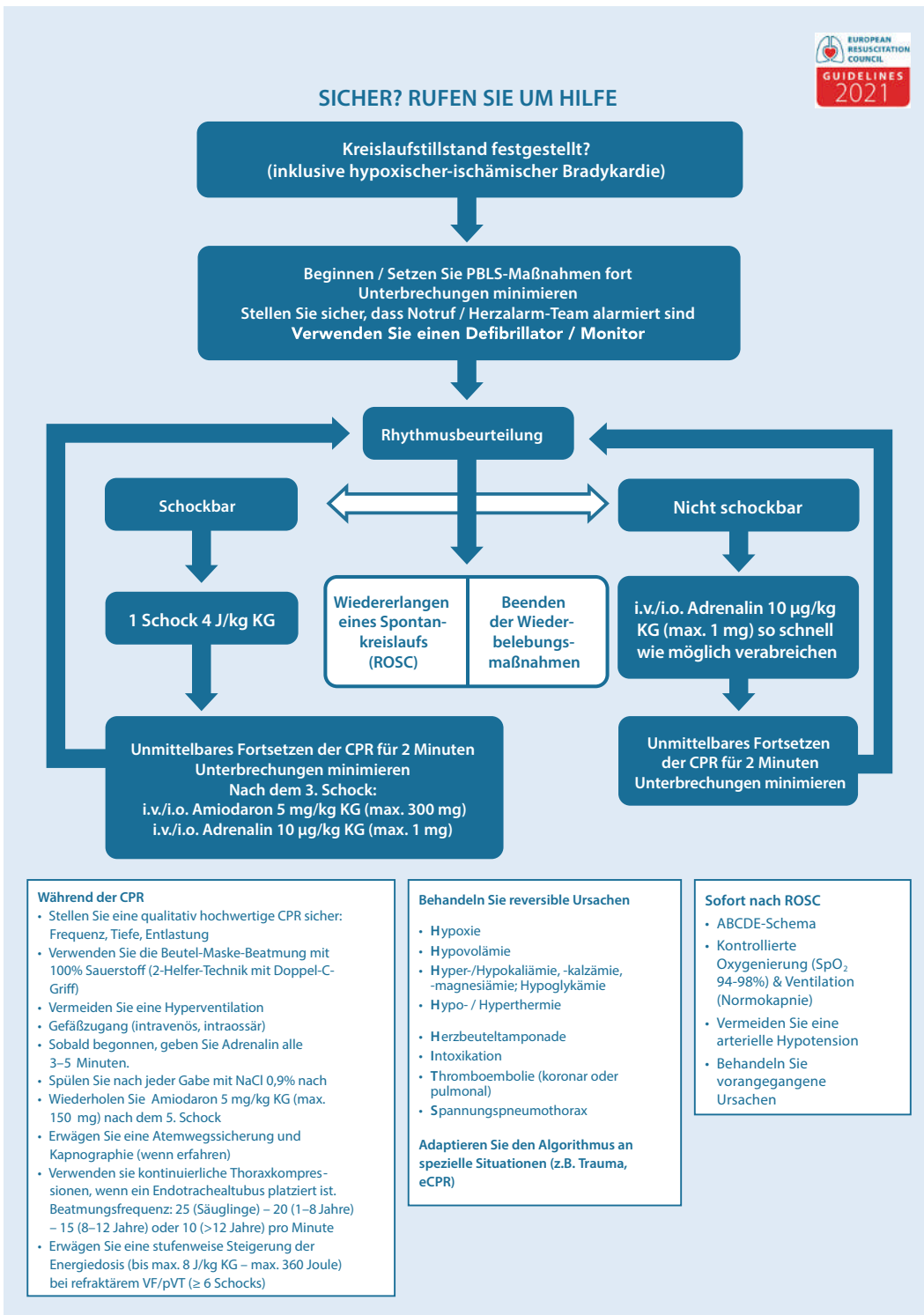


Abb. 17 ◀ EPALS

und Probeentnahmestelle erheblich abweichen können.

Besondere Umstände, reversible Ursachen.

- Die frühzeitige Identifizierung und korrekte Behandlung einer reversi-

blen Ursache während der CPR hat bei EPALS Priorität. Verwenden Sie die Mnemotechnik „4H und HITS“, um sich zu merken, wonach Sie aktiv suchen müssen:

- 4H: Hypoxie; Hypovolämie; Hypo- oder Hyperkaliämie/-kalzämie/-ma-

gnesiämie und Hypoglykämie; Hypo- oder Hyperthermie;

- HITS: Herzbeutelamponade; Intoxikation; Thromboembolie (Herz, Lunge); Spannungspneumothorax.
- Sofern nicht anders angegeben, ist die spezifische Behandlung für jede

dieser Ursachen beim Kreislaufstillstand dieselbe wie bei akuten lebensbedrohlichen Erkrankungen (siehe oben und das entsprechende Kapitel zu besonderen Umständen in diesen Leitlinien).

- Helfer sollen bei Vergiftungen mit Hochrisikomedikamenten (z. B. Betablocker, trizyklische Antidepressiva, Kalziumkanalblocker, Digitalis oder Insulin) wenn möglich mit Expertenhilfe eine spezifische Behandlung nach Protokoll anstreben. Bei bestimmten lebensbedrohlichen Intoxikationen sollen extrakorporale Behandlungen frühzeitig erwogen werden. Diese Patienten sollen in ein Zentrum gebracht werden, das extrakorporale Behandlungen bei Kindern durchführen kann, idealerweise bevor kardiovaskuläre oder neurologische Auffälligkeiten auftreten (abgeleitet aus dem Kontext der Vergiftung und nicht aus den aktuellen Symptomen).
- Spezifische Erkrankungen, wie aus der Herzchirurgie oder Neurochirurgie sowie Trauma, Ertrinken, Sepsis und pulmonale Hypertonie, erfordern ebenfalls einen spezifischen Ansatz. Die weit verbreitete Verwendung von ECLS bzw. eCPR hat das gesamte Konzept der „Reversibilität“ neu definiert.
 - Einrichtungen, die herzchirurgische Operationen bei Kindern durchführen, sollen institutspezifische Algorithmen für den Kreislaufstillstand nach herzchirurgischen Operationen festlegen.
 - Standard-EPALS kann bei Kindern mit Kreislaufstillstand und pulmonaler Hypertonie (PHT) unwirksam sein. Suchen Sie aktiv nach reversiblen Ursachen für einen erhöhten Lungengefäßwiderstand wie Medikationsabbruch, Hyperkarbie, Hypoxie, Arrhythmien, Herzbeutel tamponade oder Arzneimitteltoxizität. Beachten Sie die speziellen Behandlungskonzepte wie pulmonale Vasodilatoren.

Traumatisch bedingter Kreislaufstillstand (TCA).

- Starten Sie im Fall eines TCA die pädiatrische Standard-CPR, während Sie nach einer der reversiblen Ursachen für TCA suchen und diese behandeln:
 - Atemwege offen halten und mit Sauerstoff beatmen,
 - externe Blutungskontrolle, einschließlich der Verwendung von Tourniquets bei Massivblutungen aus Verletzungen der Extremitäten,
 - bilaterale Finger- oder Tubusthorakostomie (oder Nadelthorakozentese),
 - i.o./i.v.-Zugang und Volumengabe, wenn möglich mit Vollblut oder Blutprodukten, sowie die Verwendung der Beckenschlinge bei stumpfen Traumata.
- Thoraxkompression werden je nach verfügbarem Personal und den weiteren Maßnahmen parallel zu diesen Eingriffen durchgeführt. Aufgrund des Verletzungsmechanismus kann die Korrektur reversibler Ursachen der Adrenalinalgabe vorausgehen.
- Erwägen Sie eine Thorakotomie bei der Ankunft in der Notaufnahme bei pädiatrischen TCA-Patienten mit penetrierendem Trauma mit und ohne Lebenszeichen. Bei einigen Rettungsdiensten können hochkompetente Fachkräfte auch eine präklinische Thorakotomie für diese Patienten oder für Kinder mit speziellen stumpfen Verletzungen in Betracht ziehen.

Unterkühlung.

- Passen Sie pädiatrische Standard-ALS-Maßnahmen dem Grad der Unterkühlung an (siehe auch Kapitel über besondere Umstände). Beginnen Sie mit Standard-CPR bei allen Kindern im Kreislaufstillstand. Wenn eine kontinuierliche CPR nicht möglich ist und das Kind stark unterkühlt ist (<28 °C), kann eine verzögerte oder intermittierende CPR in Betracht gezogen werden.
- Jedes unterkühlte Kind, das eine Chance auf ein günstiges Ergebnis haben kann, soll idealerweise so bald wie möglich zu einem (pädiatrischen) Referenzzentrum mit ECLS- oder

kardiopulmonaler Bypasskapazität transportiert werden.

Extrakorporale Lebenserhaltung.

- Bei Kindern mit IHCA und einer (vermuteten) reversiblen Ursache soll eCPR frühzeitig in Betracht gezogen werden, wenn der konventionelle pädiatrische ALS nicht sofort zum ROSC führt. Das gilt für ein Umfeld, in dem Fachwissen, Ressourcen und tragbare Systeme verfügbar sind, um einen ECLS schnell einzuleiten.
- Für bestimmte Untergruppen von Kindern mit dekompensiertem kardiorespiratorischem Versagen (z. B. schwerer refraktärer septischer Schock, Kardiomyopathie, Myokarditis, refraktär niedriges Herzzeitvolumen) kann die Verwendung von ECLS vorteilhaft sein, bevor es zum Stillstand kommt, um die Endorgane zu unterstützen und einen Kreislaufstillstand zu verhindern. IHCA kurz vor oder während der Kanülierung soll den ECLS-Beginn nicht ausschließen.
- Kompetente Ersthelfer könnten sich auch dazu entschließen, eine eCPR für OHCA in Fällen eines tief hypothermischen Kreislaufstillstands einzusetzen oder wenn die Kanülierung von einem gut trainierten Team innerhalb eines Rettungsdiensts präklinisch durchgeführt werden kann.

Postreanimationsbehandlung

Das mögliche Outcome von Kindern nach ROSC hängt von vielen Faktoren ab, von denen einige möglicherweise einer Behandlung zugänglich sind. Sekundäre Schäden an lebenswichtigen Organen können durch ein andauerndes Herz-Kreislauf-Versagen aufgrund der auslösenden Pathologie, eine Myokardfunktionsstörung nach ROSC, eine Reperfusionssstörung oder eine anhaltenden Hypoxämie verursacht werden.

- **Hämodynamik:** Vermeiden Sie eine Hypotonie nach ROSC (d. h. MAP < 5. Perzentil für das Alter). Streben Sie einen Blutdruck bei bzw. über dem 50. Perzentil an, wobei Sie die klinischen Symptome, den Serumlaktatwert und/oder die



Abb. 18 ▲ Ethik – Infografik

Messungen des Herzzeitvolumens berücksichtigen. Verwenden Sie dazu die minimal erforderlichen Dosen von parenteralen Flüssigkeiten und vasoaktiven Medikamenten. Überwachen Sie alle Maßnahmen und passen Sie diese kontinuierlich den physiologischen Reaktionen des Kindes an.

- **Beatmung:** Passen Sie die Beatmungsfrequenz und das Beatmungsvolumen an das Alter des Kindes an, um einen normalen Kohlendioxidpartialdruck ($P_a\text{CO}_2$) zu erreichen. Vermeiden Sie Hypokapnie wie auch

Hyperkapnie. Bei einigen Kindern können die üblichen Werte für den Kohlendioxidpartialdruck ($P_a\text{CO}_2$) und Sauerstoffpartialdruck ($P_a\text{O}_2$) von den Populationsnormalwerten für das Alter abweichen (z. B. bei Kindern mit chronischer Lungenerkrankung oder angeborenen Herzfehlern). Ziel ist es, die individuellen Werte des Kindes wiederherzustellen. Verwenden Sie das endtidale Kohlendioxid (etCO_2) nicht als Ersatz für Kohlendioxidpartialdruck ($P_a\text{CO}_2$), wenn Sie Normokapnie als Teil der neuroprotektiven Vorsorge anstre-

ben, es sei denn, die Korrelation ist nachgewiesen.

- **Oxygenierung:** Titrieren Sie inspiratorische Sauerstofffraktion ($F_i\text{O}_2$), um eine Normoxämie zu erreichen, oder halten Sie Sauerstoffsättigung ($S_p\text{O}_2$) im Bereich von 94 bis 98 %, wenn keine arterielle Blutgasanalyse verfügbar ist. Halten Sie bei vermutterter Kohlenmonoxidvergiftung oder schwerer Anämie eine hohe inspiratorische Sauerstofffraktion ($F_i\text{O}_2$) aufrecht.
- Verwenden Sie ein gezieltes **Temperaturmanagement (TTM)**: Vermeiden Sie Fieber ($\leq 37,5^\circ\text{C}$), halten Sie eine bestimmte vordefinierte Temperatur ein, z. B. durch externe Kühlung. Niedrigere Zieltemperaturen (z. B. 34°C) erfordern geeignete Systeme der pädiatrischen Intensivpflege und sollen nur in einer Umgebung mit der erforderlichen Expertise verwendet werden. Alternativ kann das Behandlungsteam eine höhere Zieltemperatur definieren, z. B. 36°C .
- **Blutzuckerkontrolle:** Überwachen Sie den Blutzucker und vermeiden Sie sowohl Hypo- als auch Hyperglykämie. Beachten Sie, dass eine strenge Glukoseeinstellung das Risiko einer unbeabsichtigten Hypoglykämie beinhaltet und dadurch schaden kann.

Nachdem mehrere Faktoren Einfluss auf das Outcome nach einem Kreislaufstillstand haben, kann kein einzelner Faktor isoliert für die Prognoseerstellung verwendet werden. Die Behandelnden sollen daher mehrere Variable in der Phase vor, während und nach dem Kreislaufstillstand integriert verwenden, einschließlich biochemischer Marker und neuro-radiologischer Bildgebung.

Ethik

Diese Ethikleitlinien des European Resuscitation Council enthalten evidenzbasierte Empfehlungen für die routinemäßige ethische Praxis der Reanimation und die Betreuung von Erwachsenen und Kindern am Lebensende. Die Leitlinie konzentriert sich in erster Linie auf wichtige ethische Aspekte in der

Praxis, d.h. Patientenverfügung, vorausschauende Behandlungsplanung und gemeinsame Entscheidungsfindung über die Reanimation, Ausbildung und Forschung. Diese Bereiche stehen in engem Zusammenhang mit der Anwendung der Prinzipien der Bioethik in der Praxis der Reanimation und der Betreuung am Lebensende.

Die Kernaussagen sind in **Abb. 18** zusammengefasst.

Wichtige Maßnahmen zur Wahrung der Autonomie Patientenpräferenzen und Behandlungsentscheidungen. Für Ärzte gilt:

- Verwenden Sie vorausschauenden Versorgungsplanung, die im Konsens getroffene Entscheidungen enthält, um die Übereinstimmung zwischen Patientenwünschen und -behandlung zu verbessern.
- Bieten Sie allen Patienten mit erhöhtem Risiko eines Kreislaufstillstands oder geringem Reanimationserfolg bei Kreislaufstillstand eine vorausschauende Behandlungsplanung an.
- Unterstützen Sie die vorausschauende Behandlungsplanung bei allen Patienten, die dies wünschen.
- Erfassen Sie solche Planung konsequent, z. B. in elektronischen Registern, Dokumentationsvorlagen usw.
- Integrieren Sie die Reanimationsentscheidung in andere Behandlungsentscheidungen, wie z. B. invasive Beatmung und Notfallbehandlungspläne, um klare Behandlungsziele zu erhalten und um vorzubeugen, dass andere indizierte Behandlungen unbeabsichtigt nicht angewendet werden.
- Ärzte sollen keine CPR anbieten, wenn eine Reanimation aussichtslos erscheint.

Verbesserung der Kommunikation.

- Ärzte sollen evidenzbasierte Kommunikationsformen verwenden, um Gespräche über das Lebensende zu verbessern und die Erstellung von Patientenverfügungen bzw. Vorsorgevollmachten zu unterstützen.

- Ärzte sollen strukturierte Gespräche über das Lebensende mit Videoentscheidungshilfen kombinieren, wo diese Technologie verfügbar ist, um am Lebensende die Entscheidung über die Verlegung aus Pflegeheimen in Krankenhäuser gemeinsam zu treffen.
- Ärzte sollen daran denken, evtl. einen Mediator zu Gesprächen mit Patienten und/oder deren Familie einzuladen, wenn sie vorausschauende Behandlungspläne über die Angemessenheit lebenserhaltender Maßnahmen erstellen. Dies bezieht sich auf Gesundheitssysteme, in denen Mediatoren verfügbar sind.
- Gesundheitssysteme sollen Ärzten Kommunikationstraining anbieten, damit diese ihre Fähigkeiten und ihr Selbstwertgefühl bei der Überbringung schlechter Nachrichten oder beim Unterstützen der Patienten zur Definition von Versorgungszielen verbessern.
- Ärzte sollen folgende Aspekte zur Unterstützung von Patienten bzw. deren Familien in die gemeinsame Entscheidungsfindung einbringen:
 1. Geben Sie klare und ehrliche Informationen über den Status und die Prognose des Patienten. Dies kann durch ein Videotool unterstützt werden.
 2. Informieren Sie sich über die Ziele, Wertvorstellungen und Behandlungspräferenzen des Patienten.
 3. Beziehen Sie Patienten und Familienmitglieder in Gespräche über vorausschauende Behandlungspläne ein.
 4. Sprechen Sie einfühlsam, machen Sie klar, dass Sie den Patienten nicht aufgeben, seine Beschwerden lindern und die Entscheidung unterstützen werden.
 5. Bieten Sie spirituelle Unterstützung an.
 6. Gegebenenfalls erklären und verwenden Sie standardisierte patientenzentrierte Abläufe für den Behandlungsabbruch bei gleichzeitiger Symptomkontrolle und psychologischer Unterstützung des Patienten und seiner Familie.

7. Überlegen Sie, die Besprechungen mit der Familie aufzuzeichnen, um sie nachzuvollziehen und ihre Qualität zu verbessern.

Entscheidungsfindung über Beginn und Abbruch der CPR Nichteinleiten oder Abbruch der Reanimation.

- Gesundheitssysteme, Ärzte und die Öffentlichkeit sollen die CPR als bedingte Therapie betrachten.
- Gesundheitssysteme sollen Kriterien dafür implementieren, wann bei Kreislaufstillstand im Krankenhaus (IHCA) bzw. außerhalb des Krankenhauses (OHCA) die CPR nicht begonnen und abgebrochen werden soll. Dabei ist der spezifische lokale rechtliche, organisatorische und kulturelle Kontext zu berücksichtigen.
- Gesundheitssysteme sollen Kriterien für das Nichteinleiten und den Abbruch der CPR definieren und sicherstellen, dass die Kriterien lokal validiert werden. Folgende Kriterien können berücksichtigt werden:
 - Eindeutige Kriterien:
 - a. Wenn die Sicherheit des Helfers nicht ausreichend gewährleistet werden kann.
 - b. Wenn offensichtlich tödliche Verletzungen oder der irreversible Tod vorliegen.
 - c. Wenn eine gültige und relevante Patientenverfügung vorliegt, die Reanimationsmaßnahmen verneint.
 - Weitere Kriterien für die Entscheidungsfindung:
 - a. Anhaltende Asystolie trotz 20 min erweiterter lebensrettender Maßnahmen (ALS) ohne erkennbare reversible Ursache.
 - b. Ein nicht beobachteter Kreislaufstillstand mit einem anfänglich nicht schockbaren Rhythmus, bei dem das Risiko einer Schädigung des Patienten durch lang dauernde CPR wahrscheinlich den Nutzen überwiegt, z. B. bei Ausbleiben eines Spontankreislaufs (ROSC), schwerer chronischer Komorbidität oder sehr schlechter Lebensqualität vor dem Kreislaufstillstand.

c. Andere starke Hinweise darauf, dass eine weitere CPR nicht mit den Werten und Präferenzen des Patienten oder nicht mit seinem Interesse vereinbar wäre.

- Kriterien, die nicht allein die Entscheidungsfindung beeinflussen dürfen, sind z. B.
 - a. Pupillengröße,
 - b. Dauer der Reanimation,
 - c. endtidaler Kohlendioxidwert (etCO₂),
 - d. Begleiterkrankungen,
 - e. initialer Laktatwert,
 - f. Selbstmordversuch.
- Ärzte sollen die Gründe für das Nichteinleiten oder den Abbruch einer Reanimation klar dokumentieren, Gesundheitssysteme sollen diese Dokumentation überprüfen.
- Gesundheitssysteme und Rettungsdienste sollen Kriterien für den frühzeitigen Transport von OHCA-Patienten ins Krankenhaus unter Berücksichtigung des lokalen Kontexts implementieren, wenn keine Kriterien für das Nichteinleiten bzw. den Abbruch der CPR vorliegen. Der Transport soll zu Beginn des CPR-Versuchs erwogen werden und die Faktoren Patient, Ereignis (z. B. Entfernung zum Krankenhaus, Risiko eines Transports mit hoher Priorität für die Beteiligten) und Behandlung (z. B. Risiko einer suboptimalen CPR) berücksichtigt. Besonders von einem frühen Transport profitieren können Patienten mit beobachtetem Kreislaufstillstand im Beisein des Rettungsdiensts oder im Beisein von Notfallzeugen, die hochwertige Basismaßnahmen durchführen, mit ROSC zu irgendeinem Zeitpunkt oder Kammerflimmern/Kammertachykardie (VT/VF) als Anfangsrhythmus und einer vermuteten reversiblen Ursache (z. B. kardial, toxisch, Hypothermie).
 - Gesundheitssysteme sollen Kriterien für den Interhospitaltransport von IHCA-Patienten aus Kliniken implementieren, in denen keine erweiterten Reanimationsmaßnahmen möglich sind.
- Ärzte sollen die Reanimation in allen Fällen beginnen, bei denen die loka-

len Kriterien für „keine Reanimation“ nicht erfüllt sind. Sobald weitere Informationen vorliegen, kann die Behandlung dann angepasst werden.

- Ärzte sollen sich nicht an einem sogenannten „slow code“ (vorgetäuschte Reanimation) beteiligen.
- Während einer Pandemie kann der Ressourcenbedarf (z. B. Intensivpflegebetten, Beatmungsgeräte, Personal, Medikamente) die Verfügbarkeit der Ressourcen erheblich übersteigen. Behandlungsteams sollen die Überlebenswahrscheinlichkeit und/oder das gute Langzeitergebnis jedes Patienten sowie den erwarteten Ressourcenverbrauch sorgfältig beurteilen, um die Ressourcenzuweisung zu optimieren. Ärzte sollen keine Kategorien oder pauschalen Kriterien (z. B. Alter) verwenden, um die Auswahl der Patienten für eine Behandlung festzulegen.
- In Gesundheitssystemen, die die unkontrollierte Organspende nach dem Kreislaufstillstand und andere Systeme der Organspende zulassen, sollen transparente Kriterien für die Identifizierung von Kandidaten und ein Verfahren für die Zustimmung zur Entnahme und die Organkonserverwicklung entwickelt werden.

Reanimation durch Notfallzeugen. Gesundheitssysteme sollen:

- Die Bedeutung der Reanimation durch Notfallzeugen als Kernbestandteil der Reaktion der Gesellschaft auf OHCA verstehen.
- Die Reanimation durch Notfallzeugen als freiwillig ohne moralische oder rechtliche Verpflichtung zum Handeln bewerten.
- Notfallzeugen dabei unterstützen, negative Auswirkungen der Reanimation auf ihre eigene Gesundheit zu minimieren. Im Zusammenhang mit übertragbaren Krankheiten (wie COVID-19) sind Notfallzeugen auch dafür verantwortlich, eine weitere Übertragung von Krankheiten auf andere Personen in unmittelbarer Nähe und in der gesamten Gemeinschaft zu verhindern.
- Situationen identifizieren, in denen Ersthelferanimation eher von

Vorteil ist, und Situationen, in denen das unwahrscheinlich ist.

- Den Wert der CPR von Notfallzeugen niemals isoliert bewerten, sondern als Teil des gesamten Gesundheitssystems in der Region. CPR durch Notfallzeugen scheint in Umgebungen sinnvoll zu sein, in denen Ressourcen und Organisation eine intakte Überlebenskette schaffen.

Anwesenheit der Familie während der Wiederbelebung.

Reanimationsteams sollen Familienmitgliedern von Kreislaufstillstandpatienten die Möglichkeit bieten, während des Reanimationsversuchs anwesend zu sein, wenn dies sicher ist und ein Teammitglied sich um die Familie des Patienten kümmern kann. Gesundheitssysteme sollen Ärzten Schulungen anbieten, wie Familienmitglieder bei Reanimationsversuchen am besten informiert und unterstützt werden können.

Ethische Überlegungen zur Familienpräsenz

- Bei der Entscheidung über die Durchführung einer CPR sollen Ärzte prüfen und verstehen, wie der Patient ein bestimmtes Reanimationsergebnis sieht.
- Die Gesundheitssysteme sollen die Ergebnisse nach Kreislaufstillstand nachverfolgen und Möglichkeiten zur Implementierung evidenzbasierter Maßnahmen identifizieren, um die Variabilität der Patientenergebnisse zu verringern.
- Die Forschung zum Kreislaufstillstand soll die wesentlichen Punkte des Reanimationserfolgs erfassen, wie sie im Kerndatensatz zum Kreislaufstillstand beschrieben sind.

Ethik und Notfallforschung

- Gesundheitssysteme sollen hochwertige interventionelle und nicht-interventionelle Notfallforschung als wesentlichen Bestandteil der Optimierung der Reanimationsergebnisse bereitstellen und unterstützen.
- Die Forscher sollen Patienten und die Öffentlichkeit in den gesamten Forschungsprozess einbeziehen, in Studiendesign, Durchführung und

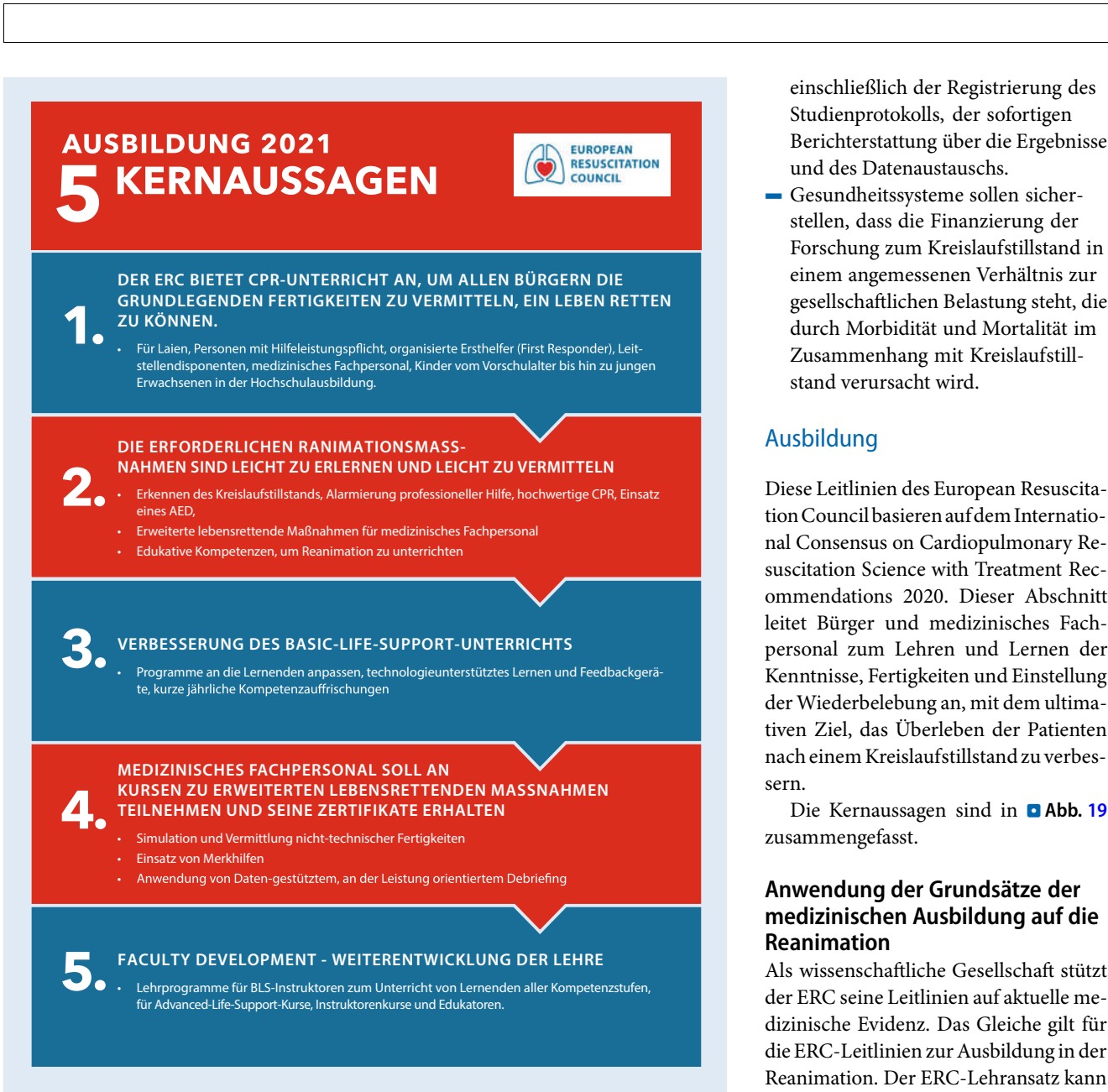


Abb. 19 ▲ Aussagen – Infografik

- Verbreitung der Forschungsergebnisse.
- Für Beobachtungsstudien (z. B. im Zusammenhang mit der Erfassung von Registerdaten und/oder der Probenahme und Analyse von DNA-Biobank-Daten) empfehlen wir die Vorgabe einer rückwirkenden umfassenden Einwilligung bei gleichzeitiger Implementierung geeigneter Schutzmaßnahmen gegen Datenschutzverletzungen und die Identifizierung von Patienten.
 - Gemeinden oder Bevölkerungsgruppen, in denen Forschung betrieben

- wird und die das Risiko forschungsbedingter unerwünschter Ereignisse mittragen, sollen von diesen Forschungsergebnissen profitieren.
- Die Forscher müssen die Projekte vor Beginn von einer unabhängigen Ethikkommission nach den örtlichen Gesetzen überprüfen und genehmigen lassen.
 - Die Forscher müssen die Würde und Privatsphäre der Projektteilnehmer und ihrer Familien respektieren.
 - Die Forscher sollen die Best-Practice-Regeln einhalten, um die Transparenz der Forschung zu sichern,

einschließlich der Registrierung des Studienprotokolls, der sofortigen Berichterstattung über die Ergebnisse und des Datenaustauschs.

- Gesundheitssysteme sollen sicherstellen, dass die Finanzierung der Forschung zum Kreislaufstillstand in einem angemessenen Verhältnis zur gesellschaftlichen Belastung steht, die durch Morbidität und Mortalität im Zusammenhang mit Kreislaufstillstand verursacht wird.

Ausbildung

Diese Leitlinien des European Resuscitation Council basieren auf dem International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations 2020. Dieser Abschnitt leitet Bürger und medizinisches Fachpersonal zum Lehren und Lernen der Kenntnisse, Fertigkeiten und Einstellung der Wiederbelebung an, mit dem ultimativen Ziel, das Überleben der Patienten nach einem Kreislaufstillstand zu verbessern.

Die Kernaussagen sind in [Abb. 19](#) zusammengefasst.

Anwendung der Grundsätze der medizinischen Ausbildung auf die Reanimation

Als wissenschaftliche Gesellschaft stützt der ERC seine Leitlinien auf aktuelle medizinische Evidenz. Das Gleiche gilt für die ERC-Leitlinien zur Ausbildung in der Reanimation. Der ERC-Lehransatz kann in 4 Themen (4 „I“) eingeteilt werden:

1. „Ideas“: Theorie des Lehrens und Lernens,
2. „Inquiry“: Forschung, die sich aus den Ideen entwickelt und diese beeinflusst,
3. „Implementation“: Umsetzung auf der Basis der Forschung und
4. „Impact“: Ergebnis dieser pädagogischen Ansätze sowohl für das Lernen als auch für die klinische Praxis.

Reanimationsausbildung für verschiedene Zielgruppen

Jeder Bürger soll die grundlegenden Fertigkeiten erlernen, um ein Leben zu retten. Wer verpflichtet ist, bei Notfällen zu helfen, muss nach den aktuellen

ERC-Leitlinien in der Lage sein, je nach dem Grad der Hilfe, den er bieten muss, Reanimationsmaßnahmen von BLS bis zu erweiterten lebensrettenden Maßnahmen für Kinder und/oder Erwachsene durchzuführen. Reanimationskompetenzen werden am besten erhalten, wenn Training und Wiederholung zeitlich verteilt sind (nach 2 bis 12 Monaten empfohlen). Für medizinisches Personal wird ein akkreditierter Kurs in erweiterten lebensrettenden Maßnahmen sowie die Verwendung von kognitiven Hilfen und Feedbackgeräten während des Reanimationstrainings empfohlen. Spezifische Schulungen für Teammitglieder und Teamleiter sollen Teil der Kurse zu erweiterten lebensrettenden Maßnahmen sein und es muss ein datengesteuertes, leistungsorientiertes Debriefing vermittelt werden.

Wichtige Punkte in der Reanimationsausbildung für Notfallzeugen und First Responder sind:

- Steigerung der Bereitschaft, CPR durchzuführen.
- Stärkung der Überlebenskette.
- Unterricht mit Feedbackgeräten.
- Verteilung des Reanimationstrainings über längere Zeit (unterbrochene Ausbildung).
- Erhalten der Reanimationskompetenz durch häufige Wiederholung.

Wichtige Punkte in der Reanimationsausbildung für medizinisches Personal sind:

- Ausbildung des medizinischen Personals in hochwertiger CPR (von BLS bis zu erweiterten lebensrettenden Maßnahmen für Kinder und/oder Erwachsenen, Ausbildung für besondere Umstände hängt vom Arbeitsplatz und den Patienten) ab.
- Teilnahme an akkreditierten Kursen in erweiterten lebensrettenden Maßnahmen, die Team- und Führungstraining einbinden.
- Verwendung kognitiver Hilfsmittel.
- Erlernen und Durchführen von Debriefings (Nachbesprechungen).

Vermittlung der Fertigkeiten zur Durchführung einer qualifizierten Reanimation

Es ist sehr wichtig, die technischen Fertigkeiten zu vermitteln, um eine Wiederbelebung auf jeder Ebene durchzuführen. Ebenso wichtig ist jedoch die Vermittlung menschlicher Faktoren („Human Factors“), z. B. Kommunikation, Zusammenarbeit in Teams und mit verschiedenen Berufen, Bewusstsein für die kritische Situation usw. „Human Factors“ sind entscheidend für eine hochwertige CPR und gute klinische Praxis. Das Unterrichten dieser Faktoren erhöht die Bereitschaft geschulter Einsatzkräfte, Betroffenen in lebensbedrohlichen Situationen zu helfen, verbessert die Überlebenskette durch sofortigen BLS und gibt den Teilnehmern von CPR-Kursen das Zutrauen, jederzeit eine Reanimation zu beginnen.

Technologie, um die Reanimationsausbildung zu verbessern

Das Erlernen der CPR kann durch die Verwendung von Smartphones, Tablets usw. mithilfe von Apps und sozialen Medien sowie von Feedbackgeräten unterstützt werden. Diese Lernmodalitäten können unabhängig vom Ausbilder sein. Sie verbessern das Behalten und erleichtern die Kompetenzbewertung bei CPR. Gamified Learning (z. B. virtuelle und erweiterte Realität, Tablet-Apps, die Monitore simulieren, usw.) kann viele Lernende mitnehmen. Virtuelle Lernumgebungen werden für das „E-Learning“ vor dem Kurs als Teil eines Blended-Learning-Ansatzes oder für Selbstlernoptionen unabhängig von Zeit und Ort für alle CPR-Kurse empfohlen.

Simulation für die Reanimationsausbildung

High- und Low-Fidelity-Simulation in der Reanimationsausbildung erleichtern einer Vielzahl von Lernenden das kontextbezogene Lernen. Simulation integriert technische und nichttechnische Fähigkeiten und berücksichtigt das Umfeld oder den Kontext spezieller Lerngruppen und die unterschiedlichen Kompetenzniveaus. Somit bietet Simulation die Möglichkeit, mit Human Factors umzugehen und die Anwendung dieser in kritischen

Situationen zu modifizieren. Spezifische Team- oder Führungstrainings sollen in das Simulationstraining erweiterter lebensrettender Maßnahmen einbezogen werden. Während der Reflexionsphase im Debriefing einer Reanimationssimulation findet tiefgehendes Lernen statt.

Faculty Development – Aus- und Fortbildung der Instruktoren in der Reanimation

In vielen Bereichen der Bildung hat die Qualität des Lehrers einen großen Einfluss auf das Lernen, und das kann durch Training und ständige Weiterentwicklung der Lehrenden verbessert werden. Die Beweise für diese Effekte im Reanimationstraining sind rar und viele Empfehlungen zur Entwicklung der Qualität werden daher aus anderen Bereichen extrapoliert. Dabei sind 3 Aspekte wichtig:

- Auswahl geeigneter Ausbilder,
- Erstausbildung der Ausbilder sowie
- Aufrechterhalten und regelmäßige Aktualisierung ihrer Unterrichtsqualität.

Auswirkung der Reanimationsausbildung auf das Patientenoutcome

Zertifiziertes ALS-Training und zertifiziertes Neugeborenenreanimationstraining für medizinisches Personal verbessern das Patientenoutcome. Die Auswirkung anderer Reanimationskurse auf das Patientenoutcome ist weniger klar. Dennoch ist es sinnvoll, andere zertifizierte Kurse zu empfehlen. Weitere Untersuchungen sind jedoch erforderlich, um ihre realen Auswirkungen auf das Patientenoutcome zu quantifizieren.

Forschungslücken und zukünftige Gebiete der Bildungsforschung

Es mangelt an hochwertiger Forschung in der Reanimationsschulung, um festzustellen, ob CPR-Training die Prozessqualität (z. B. Kompressionsrate, -tiefe oder -verhältnis) und das Patientenoutcome (z. B. Wiederherstellung des Spontankreislaufs, Überleben bis zur Entlassung oder Überleben mit günstigem neurologischem Ergebnis) verbessert. Erfolgreiche Strategien zur Verbesserung der Schulungseffizienz aus der breiteren Literatur zur medizinischen Ausbildung

sollen für ihren Wert bei der Reanimationsschulung in Betracht gezogen werden. Kontextbezogenes und maßgeschneidertes CPR-Training kann den Abfall der Kompetenz verhindern. Es gibt Potenzial, Wiederbelebungskurse weniger allgemein zu halten und sich mehr auf die individuellen Bedürfnisse des Lernenden zu konzentrieren. Zukünftige Forschungsbereiche sind die Untersuchung der optimalen Ausbildung und die Unterstützung von Reanimationstrainern sowie die Rolle der Ausbildung für die Reduzierung emotionaler und psychologischer Traumata bei den Ersthelfern.

Korrespondenzadresse

Gavin D. Perkins

Warwick Clinical Trials Unit, Warwick Medical School, University of Warwick
CV4 7AL Coventry, Großbritannien
dirks@grc-org.de

Korrespondierender Übersetzer

Dr. Dr. Burkhard Dirks
Deutscher Rat für Wiederbelebung – German Resuscitation Council (GRC) e.V.
c/o Sektion Notfallmedizin
Universitätsklinikum Ulm
Prittwitzstraße 43, 89070 Ulm
dirks@grc-org.de

Danksagung. Die Übersetzung dieses Kapitels wurde von Dr. Dr. Burkhard Dirks geleistet. Gavin D. Perkins wird vom Nationalen Institut für Gesundheitsforschung (NIHR) für angewandte Forschungszusammenarbeit (ARC) West Midlands unterstützt. Die geäußerten Ansichten sind die der Autoren und nicht unbedingt die des NIHR oder des Ministeriums für Gesundheit und Soziales.

Mitarbeiter an den Leitlinien des European Resuscitation Council. Sule Akin; Janusz Andres; Michael Baubin; Wilhem Behringer; Adriana Boccuzzi; Bernd Böttiger; Roman Burkart; Pierre Carli; Pascal Cassan; Theodoros Christophides; Diana Cimpoesu; Carlo Clarens; Jacques Delchef; Annick De Roovere; Burkhard Dirks; Gamal Eldin; Gabbas Khalifa; Hans Friberg; Els Goemans; Primoz Gradisek; Christian Hassager; Jon-Kenneth Heltné; Dominique Hendrickx; Silvija Hunyadi Anticevic; Jozef Koppl; Uwe Kreimeier; Artem Kuzovlev; Martijn Maas; Ian Maconochie; Simon Attard Montalto; Nicolas Mpotos; Mahmoud Tageldin Mustafa; Nikolaos Nikolaou; Kathleen Pitches; Violetta Raffay; Walter Renier; Giuseppe Ristagno; Saloua Safri; Luis Sanchez Santos; Suzanne Schilder; Hildigunnur Svavarsdóttir; Anatolij Truhlar; Georg Trummer; Jukka Vaahersalo; Heleen Van Grootven; Jonathan Wyllie.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. J.P. Nolan reports funding from Elsevier for his role as Editor in Chief of the journals *Resuscitation* and *Resuscitation Plus*. He reports research funding from the National Institute for Health Research in relation to the PARAMEDIC2 trial and the AIRWAYS2 trial. G.D. Perkins reports funding from Elsevier for his role as an editor of the journal *Resuscitation*. He reports research funding from the National Institute for Health Research in relation to the PARAMEDIC2 trial and the RESPECT project and from the Resuscitation Council UK and British Heart Foundation for the OHCAO Registry. J.-T. Gräsner declared speakers honorarium from Weinmann, Fresenius, Ratiopharm, Zoll; he is Scientific Advisor for Zoll Temperaturemanagement. T. Olasveengen declares research funding from Laerdal Foundation and Zoll Foundation. R. Greif declares his role as editor of the journal *Trends in Anaesthesia and Critical Care*, associate editor *European Journal of Anaesthesiology*. He reports institutional research funding. J. Soar declares his role as an editor of *Resuscitation*; he declares institutional research funding for the Audit-7 project. J.L. reports funding for his contribution to Paramedic-2 and OHCAO project. J. Madar declares occasional advice to Laerdal Medical and Braydenon Newborn Resuscitation Equipment. [Stand 17.5.2020, Originalartikel in *Resuscitation*]. F. Semeraro, C. Lott, P. Van de Voorde, D. Zideman, S. Mentzelopoulos, L. Bossaert, K. Monsieus and H. Svavarsdóttir declare that they have no competing interests.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Bossaert L, Chamberlain D (2013) The European Resuscitation Council: its history and development. *Resuscitation* 84(10):1291–1294
2. Guidelines for basic life support. A statement by the Basic Life Support Working Party of the European Resuscitation Council, 1992. *Resuscitation* 1992; 24(2):103–10.
3. Guidelines for advanced life support. A statement by the Advanced Life Support Working Party of the European Resuscitation Council, 1992. *Resuscitation* 1992; 24(2): 111–21.
4. Zideman D, Bingham R, Beattie T et al (1994) Guidelines for paediatric life support: a statement by the paediatric life support working party of the European resuscitation council, 1993. *Resuscitation* 27(2):91–105
5. Chamberlain D, Vincent R, Baskett P et al (1994) Management of peri-arrest arrhythmias. A statement for the advanced cardiac life support committee of the European resuscitation council, 1994. *Resuscitation* 28(2):151–159
6. Guidelines for the basic management of the airway and ventilation during resuscitation. A statement by the Airway and Ventilation Management Working Group of the European Resuscitation Council. *Resuscitation* 1996; 31(3): 187–200.
7. Robertson C, Steen P, Adgey J et al (1998) The 1998 European Resuscitation Council guidelines for adult advanced life support: a statement from the Working Group on Advanced Life Support, and approved by the executive committee. *Resuscitation* 37(2):81–90
8. Handley AJ, Bahr J, Baskett P et al (1998) The 1998 European Resuscitation Council guidelines for adult single rescuer basic life support: a statement from the Working Group on Basic Life Support, and approved by the executive committee. *Resuscitation* 37(2):67–80
9. European Resuscitation Council (2000) Part 1: introduction to the International Guidelines 2000 for CPR and ECC. A consensus on science. *Resuscitation* 46(1–3):3–15
10. In this issue. *Resuscitation* 2001; 48(3): 191–2.
11. Nolan J (2005) European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 1. Introduction. *Resuscitation* 67(Suppl 1):S3–S6
12. Nolan JP, Soar J, Zideman DA et al (2010) European resuscitation council guidelines for resuscitation 2010 section 1. Executive summary. *Resuscitation* 81(10):1219–1276
13. Monsieurs KG, Nolan JP, Bossaert LL et al (2015) European resuscitation council guidelines for resuscitation 2015: section 1. Executive summary. *Resuscitation* 95:1–80
14. Soar J, Perkins GD, Maconochie I et al (2019) European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation: 2018 Update—Antiarrhythmic drugs for cardiac arrest. *Resuscitation* 134:99–103
15. Perkins GD, Olasveengen TM, Maconochie I et al (2018) European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation: 2017 update. *Resuscitation* 123:43–50
16. Olasveengen TM, de Caen AR, Mancini ME et al (2017) 2017 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations summary. *Resuscitation*. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.10.021>
17. Soar J, Donnino MW, Maconochie I et al (2018) 2018 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations Summary. *Resuscitation* 133:194–206
18. Nolan JP, Monsieurs KG, Bossaert L et al (2020) European Resuscitation Council COVID-19 guidelines executive summary. *Resuscitation* 153:45–55
19. Perkins GD, Neumar R, Monsieurs KG et al (2017) The International Liaison Committee on Resuscitation—Review of the last 25 years and vision for the future. *Resuscitation* 121:104–116
20. Neumar RW, Perkins GD (2018) Future vision for ILCOR and its role in the global resuscitation community. *Circulation* 138(11):1085–1087
21. Berg KM, Soar J, Andersen LW et al (2020) Adult advanced life support: international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A80–A119
22. Maconochie IK, Aickin R, Hazinski MF et al (2020) Pediatric life support: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A120–A155
23. Morley PT, Atkins DL, Finn JC et al (2020) Evidence evaluation process and management of potential conflicts of interest: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A23–A34
24. Nolan JP, Maconochie I, Soar J et al (2020) Executive summary 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A1–A22

25. Olasveengen TM, Mancini ME, Perkins GD et al (2020) Adult basic life support: international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A35–A79
26. Soar J, Berg KM, Andersen LW et al (2020) Adult advanced life support: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A80–A119
27. Singletary EM, Zideman DA, Bendall JC et al (2020) International consensus on first aid science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A240–A82
28. Greif R, Bhanji F, Bigham BL et al (2020) Education, implementation, and teams: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A188–A239
29. Wyckoff MH, Wyllie J, Aziz K et al (2020) Neonatal life support 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A156–A187
30. Kredt T, Bernhardsson S, Machingaidze S et al (2016) Guide to clinical practice guidelines: the current state of play. *Int J Qual Health Care* 28(1):122–128
31. Institute of Medicine (2011) Clinical practice guidelines we can trust. <http://www.iom.edu/Reports/2011/Clinical-Practice-Guidelines-We-Can-Trust/Standards.aspx>
32. Qaseem A, Forland F, Macbeth F et al (2012) Guidelines International Network: toward international standards for clinical practice guidelines. *Ann Intern Med* 156(7):525–531
33. Conflict of interest. <https://cprguidelines.eu/conflict-of-interest>. Zugegriffen: 6. Dez. 2020
34. ERC Business Partners ERC Business Partners. <https://www.erc.edu/business-partners>
35. Gräsner J-T, Herlitz J, Tjelmeland IBM et al (2021) Epidemiologie des Kreislaufstillstandes in Europa. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 Notfall Rettungsmed. www.springermedizin.de/link/10.1007/s10049-021-00884-y
36. Semeraro F, Greif R, Böttiger BW et al (2021) Lebensrettende Systeme Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 Notfall Rettungsmed. www.springermedizin.de/link/10.1007/s10049-021-00889-7
37. Olasveengen TM, Semeraro F, Ristagno G et al (2021) Basismaßnahmen zur Wiederbelebung Erwachsener („Basic Life Support“, BSL) Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 Notfall Rettungsmed. www.springermedizin.de/link/10.1007/s10049-021-00885-x
38. Soar J, Böttiger BW, Carli P et al (2021) Erweiterte lebensrettende Maßnahmen für Erwachsene. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 Notfall Rettungsmed. www.springermedizin.de/link/10.1007/s10049-021-00893-x
39. Lott C, Truhlfäß A, Alfonso A et al (2021) Kreislaufstillstand unter besonderen Umständen. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 Notfall Rettungsmed. www.springermedizin.de/link/10.1007/s10049-021-00891-z
40. Nolan JP, Sandroni C, Böttiger BW et al (2021) Postreanimationsbehandlung. Leitlinien des European Resuscitation Council und der European Society of Intensive Care Medicine 2021 Notfall Rettungsmed. www.springermedizin.de/link/10.1007/s10049-021-00892-y
41. Zideman DA, Singletary EM, Borra V et al (2021) Erste Hilfe. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 Notfall Rettungsmed. www.springermedizin.de/link/10.1007/s10049-021-00886-w
42. Madara J, Roehr CC, Ainsworth S et al (2021) Versorgung und Reanimation des Neugeborenen nach der Geburt. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 Notfall Rettungsmed. www.springermedizin.de/link/10.1007/s10049-021-00894-w
43. Van de Voorde P, Turner MN, Djakow J et al (2021) Lebensrettende Maßnahmen bei Kindern („Paediatric Life Support, PLS“). Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 Notfall Rettungsmed. www.springermedizin.de/link/10.1007/s10049-021-00887-9
44. Mentzelopoulos SD, Couper K, Van de Voorde P et al (2021) Ethik der Reanimation und Entscheidungen am Lebensende. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 Notfall Rettungsmed. www.springermedizin.de/link/10.1007/s10049-021-00888-8
45. Greif R, Lockey A, Breckwoldt J et al (2021) Lehre in der Reanimation. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 Notfall Rettungsmed. www.springermedizin.de/link/10.1007/s10049-021-00890-0
46. Guyatt GH, Oxman AD, Vist GE et al (2008) GRADE: an emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ* 336(7650):924–926
47. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman D, Group fTP (2009) Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *BMJ* 339:b2535
48. Tricco AC, Lillie E, Zarin W et al (2018) PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-scr): checklist and explanation. *Ann Intern Med* 169(7):467–473
49. Assessing the methodological quality of systematic reviews. <http://amstar.ca/index.php>
50. Huber BC, Brunner S, Schlichtiger J, Kanz KG, Bogner-Flatz V (2020) Out-of-hospital cardiac arrest incidence during COVID-19 pandemic in Southern Germany. *Resuscitation* 157:121–122
51. Baldi E, Sechi GM, Mare C et al (2020) Out-of-hospital cardiac arrest during the Covid-19 outbreak in Italy. *N Engl J Med*. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2010418>
52. McClelland G, Shaw G, Thompson L, Wilson N, Grayling M (2020) Impact of the COVID-19 lockdown on hangings attended by emergency medical services. *Resuscitation* 157:89–90
53. Borkowska MJ, Smereka J, Safiejko K et al (2020) Out-of-hospital cardiac arrest treated by emergency medical service teams during COVID-19 pandemic: A retrospective cohort study. *Cardiol J*. <https://doi.org/10.5603/CJ.a2020.0135>
54. Semeraro F, Gamberini L, Tartaglione M et al (2020) Out-of-hospital cardiac arrest during the COVID-19 era in Bologna: System response to preserve performances. *Resuscitation* 157:1–2
55. Elmer J, Okubo M, Guyette FX, Martin-Gill C (2020) Indirect effects of COVID-19 on OHCA in a low prevalence region. *Resuscitation* 156:282–283
56. Recher M, Baert V, Leteurtre S, Hubert H (2020) Consequences of coronavirus disease outbreak on paediatric out-of-hospital cardiac arrest in France. *Resuscitation* 155:100–102
57. Paoli A, Brischiaglio L, Scquizzato T, Favaretto A, Spagna A (2020) Out-of-hospital cardiac arrest during the COVID-19 pandemic in the Province of Padua, Northeast Italy. *Resuscitation* 154:47–49
58. Baldi E, Sechi GM, Mare C et al (2020) COVID-19 kills at home: the close relationship between the epidemic and the increase of out-of-hospital cardiac arrests. *Eur Heart J* 41(32):3045–3054
59. Jost D, Derkenne C, Kedzierewicz R et al (2020) The need to adapt the rescue chain for out-of-hospital cardiac arrest during the COVID-19 pandemic: Experience from the Paris Fire Brigade Basic Life Support and Advanced Life Support teams. *Resuscitation* 153:56–57
60. Marijon E, Karam N, Jost D et al (2020) Out-of-hospital cardiac arrest during the COVID-19 pandemic in Paris, France: a population-based, observational study. *Lancet Public Health* 5(8):e437–e443
61. Rashid Hons M, Hons GCP, Curzen Hons N et al (2020) Impact of Coronavirus disease 2019 pandemic on the incidence and management of out-of-hospital cardiac arrest in patients presenting with acute myocardial infarction in England. *JAMA* 9(22):e18379
62. Lim ZJ, Ponnappa Reddy M, Afroz A, Billah B, Shekar K, Subramaniam A (2020) Incidence and outcome of out-of-hospital cardiac arrests in the COVID-19 era: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation*. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.10.025>
63. Chan PS, Girotra S, Tang Y, Al-Arabi R, Nallamothu BK, McNally B (2020) Outcomes for out-of-hospital cardiac arrest in the United States during the Coronavirus disease 2019 pandemic. *JAMA Cardiol*. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.6210>
64. Christian MD, Couper K (2020) COVID-19 and the global OHCA crisis: an urgent need for system level solutions. *Resuscitation*. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.11.004>
65. Perkins GD, Couper K (2020) COVID-19: long-term effects on the community response to cardiac arrest? *Lancet Public Health* 5(8):e415–e416
66. Hayek SS, Brenner SK, Azam TU et al (2020) In-hospital cardiac arrest in critically ill patients with covid-19: multicenter cohort study. *BMJ* 371:m3513
67. Shao F, Xu S, Ma X et al (2020) In-hospital cardiac arrest outcomes among patients with COVID-19 pneumonia in Wuhan, China. *Resuscitation*. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.04.005>
68. Couper K, Taylor-Phillips S, Grove A et al (2020) COVID-19 in cardiac arrest and infection risk to rescuers: a systematic review. *Resuscitation*. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.04.022>
69. Perkins GD, Morley PT, Nolan JP et al (2020) International Liaison Committee on Resuscitation: COVID-19 consensus on science, treatment recommendations and task force insights. *Resuscitation* 151:145–147
70. Ott M, Milazzo A, Liebau S et al (2020) Exploration of strategies to reduce aerosol-spread during chest compressions: a simulation and cadaver model. *Resuscitation* 152:192–198
71. Ran L, Chen X, Wang Y, Wu W, Zhang L, Tan X (2020) Risk factors of healthcare workers with Coronavirus disease 2019: a retrospective cohort study in a designated hospital of Wuhan in China. *Clin Infect Dis* 71(16):2218–2221
72. Tian Y, Tu X, Zhou X et al (2020) Wearing a N95 mask increases rescuer's fatigue and decreases chest compression quality in simulated cardiopulmonary resuscitation. *Am J Emerg Med*. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2020.05.065>
73. El-Boghdady K, Wong DJN, Owen R et al (2020) Risks to healthcare workers following

tracheal intubation of patients with COVID-19: a prospective international multicentre cohort study. *Anaesthesia* 75(11):1437–1447

74. Couper K, Taylor-Phillips S, Grove A et al (2020) COVID-19 infection risk to rescuers from patients in cardiac arrest. *Consensus on Science with Treatment Recommendations: International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR)*. <https://costr.ilcor.org/document/covid-19-infection-risk-to-rescuers-from-patients-in-cardiac-arrest>
75. Perkins GD, Handley AJ, Koster RW et al (2015) European resuscitation council guidelines for resuscitation 2015: section 2. adult basic life support and automated external defibrillation. *Resuscitation* 95:81–99
76. Koster RW, Baubin MA, Bossaert LL et al (2010) European resuscitation council guidelines for resuscitation 2010 section 2. adult basic life support and use of automated external defibrillators. *Resuscitation* 81(10):1277–1292
77. Dawson JA, Kamlin CO, Vento M et al (2010) Defining the reference range for oxygen saturation for infants after birth. *Pediatrics*. [http://refhub.elsevier.com/S0300-9572\(21\)00067-8/sbref1405](http://refhub.elsevier.com/S0300-9572(21)00067-8/sbref1405)

Copyrightangaben

© **European Resuscitation Council (ERC), German Resuscitation Council (GRC), Austrian Resuscitation Council (ARC) und Swiss Resuscitation Council 2021. Alle Rechte vorbehalten.**

Die vorliegende Publikation sowie Teile hiervon dürfen nicht ohne die vorherige schriftliche Zustimmung des jeweiligen nationalen Resuscitation Council vervielfältigt, in einem Datenabfragesystem gespeichert oder in jeglicher Form oder durch jegliche Mittel – elektronisch, mechanisch, durch Fotokopie oder Aufnahme oder anderweitig – übertragen werden.

Haftungsausschluss: Weder Autoren noch Verlag sind für Verletzungen und/oder Personen- oder Sachschäden aufgrund von Produkthaftung, Fahrlässigkeit oder Sonstigem, oder durch jegliche Nutzung oder jeglichen Einsatz von Methoden, Produkten, Anweisungen oder Ideen, die im vorliegenden Material vorhanden sind, verantwortlich.

Die vorliegende Publikation ist eine Übersetzung der ERC Guidelines 2015. Die Übersetzung wurde von und unter der Aufsicht des German (GRC), Austrian (ARC) und Swiss Resuscitation Council (SRC) von den unten genannten Übersetzern erstellt. Die deutschsprachige Übersetzung wurde von B. Dirks, Ulm (GRC) genehmigt. GRC, ARC und SRC sind allein für deren Inhalte verantwortlich. Sollten Fragen bezüglich der Genauigkeit der Informationen in der Übersetzung aufkommen, konsultieren Sie bitte die englischsprachige Version der ERC Guidelines, bei der es sich um die offizielle Version des Dokuments handelt.

Jegliche Abweichungen oder Unterschiede, die sich aus der Übersetzung ergeben, sind für den European Resuscitation Council nicht bindend und haben weder rechtliche Auswirkungen noch Einhaltungs- oder Vollzugskraft.

Kontakt

Springer-Verlag GmbH regelt die Rechte an der deutschen Version. Anfragen bezüglich dieser Publikation oder jeglicher anderer Verbreitung des Inhalts durch Dritte werden durch Springer-Verlag GmbH an GRC, ARC und SRC übermittelt.

© **European Resuscitation Council (ERC), German Resuscitation Council (GRC), Austrian Resuscitation Council (ARC) and Swiss Resuscitation Council 2021. All rights reserved.**

No parts of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the ERC or the respective National Resuscitation Council.

Disclaimer: No responsibility is assumed by the authors and the publisher for any injury and/or damage to persons or property as a matter of products liability, negligence or otherwise, or from any use or operation of any methods, products, instructions or ideas contained in the material herein.

This publication is a translation of the original ERC Guidelines 2021. The translation is made by and under supervision of the German (GRC), Austrian (ARC) and Swiss Resuscitation Council (SRC) by the translators mentioned below. The German translation was authorised by B. Dirks, Ulm (GRC). GRC, ARC and SRC are solely responsible for its contents.

If any questions arise related to the accuracy of the information contained in the translation, please refer to the English version of the ERC guidelines which is the official version of the document.

Any discrepancies or differences created in the translation are not binding to the European Resuscitation Council and have no legal effect for compliance or enforcement purposes.

Contact

Springer-Verlag GmbH manages the rights to the German version. Any requests concerning the publication or any other distribution of the content by third parties must be submitted through Springer-Verlag GmbH to GRC, ARC and SRC.

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:346–366
<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00884-y>
Angenommen: 19. April 2021
Online publiziert: 2. Juni 2021
© European Resuscitation Council (ERC),
German Resuscitation Council (GRC), Austrian
Resuscitation Council (ARC) 2021



Jan-Thorsten Gräsner^{1,15} · Johan Herlitz² · Ingvild B. M. Tjelmeland^{1,3} ·
Jan Wnent^{1,14,15} · Siobhan Masterson⁴ · Gisela Lilja⁵ · Berthold Bein^{6,7} ·
Bernd W. Böttiger⁸ · Fernando Rosell-Ortiz⁹ · Jerry P. Nolan^{10,11} · Leo Bossaert¹² ·
Gavin D. Perkins^{10,13}

¹ Institute for Emergency Medicine (IRUN), University Hospital Schleswig-Holstein, Kiel, Deutschland; ² Prehospiten-Centre for Prehospital Research, Faculty of Caring Science, Work-Life and Social Welfare, University of Borås, Borås, Schweden; ³ Division of prehospital services, Oslo University Hospital, Oslo, Norwegen; ⁴ National Ambulance Service and National University of Ireland Galway, Galway, Irland; ⁵ Skane University Hospital, Department of Clinical Sciences Lund, Neurology, Lund University, Lund, Schweden; ⁶ Anaesthesiology and Intensive Care Medicine, Asklepios Hospital St. Georg, Hamburg, Deutschland; ⁷ Faculty of Medicine, Semmelweis University, Hamburg, Deutschland; ⁸ Medical Faculty and University Hospital of Cologne, Köln, Deutschland; ⁹ Servicio de Urgencias y Emergencias 061, de La Rioja, Spanien; ¹⁰ Warwick Clinical Trials Unit, Warwick Medical School, University of Warwick, Coventry, Großbritannien; ¹¹ Department of Anaesthesia and Intensive Care Medicine, Royal United Hospital, Bath, Großbritannien; ¹² University of Antwerp, Antwerpen, Belgien; ¹³ University Hospital Birmingham, Birmingham, Großbritannien; ¹⁴ School of Medicine, University of Namibia, Windhuk, Namibia; ¹⁵ Department of Anesthesiology and Intensive Care Medicine, University Hospital Schleswig-Holstein, Kiel, Deutschland

Epidemiologie des Kreislaufstillstands in Europa

Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Einführung und Inhalt

Der plötzliche Kreislaufstillstand (SCA) ist die dritthäufigste Todesursache in Europa [1–3]. Es wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, um den Hintergrund und die Ursachen eines Kreislaufstillstands sowie die Unterschiede in der Inzidenz innerhalb und zwischen Ländern zu verstehen. Faktoren, die das Überleben nach einem Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses (OHCA) und einem Kreislaufstillstand innerhalb des Krankenhauses (IHCA) beeinflussen, sind gut bekannt, es bestehen jedoch weiterhin erhebliche Unterschiede in Bezug auf Inzidenz

Die Leitlinien wurden mit dem generischen Maskulin übersetzt. Bitte beachten Sie, dass alle Personenbezeichnungen gleichermaßen für beide Geschlechter gelten.

Die Übersetzung beruht auf der Version vom 29.01.2021. Bis zur Publikation des englischen Originals in *Resuscitation* wurden in manchen Kapiteln Literaturstellen korrigiert oder andere Änderungen vorgenommen, die den Sinn nicht wesentlich ändern.

und Ergebnis. Abweichungen können sich aus Unterschieden bei der Datenerfassung ergeben (z. B. Falldefinition, Ermittlungsmethoden und Ergebnisüberprüfung). Fallmix (z. B. Alter, sozioökonomischer Status, Komorbiditäten), Struktur (z. B. verschiedene Arten von Rettungsdiensten [EMS] oder Unterschiede in der Organisation von Teams, die auf IHCA reagieren; geografische Unterschiede, Einsatz von Community-Responder-Systemen), Unterschiede im Versorgungsprozess (z. B. Reaktionszeit des Rettungsdiensts, Zeit bis zur Defibrillation, Postreanimationsbehandlung) sowie Unterschiede in der Qualität der Behandlung durch einzelne Reanimationsteams (z. B. Qualität der CPR, bereitgestellte Interventionen, Entscheidungen darüber, wann die Wiederbelebung begonnen und beendet werden soll) [4]. Anfang der neunziger Jahre wurden die ersten Utstein-Empfehlungen veröffentlicht, um Forschern und Praktikern dabei zu helfen, dieselben Datenpunkte mit denselben Definitionen zu nutzen [5]. Es wurde erwartet, dass

dies zu einem besseren Verständnis der Epidemiologie des Kreislaufstillstands führen, systemübergreifende und systeminterne Vergleiche erleichtern und den Vergleich der Vorteile verschiedener Systemansätze ermöglichen würde.

Die Utstein-Empfehlungen sollen als Treiber zur Qualitätsverbesserung fungieren, Wissenslücken identifizieren und klinische Forschung unterstützen [6].

Richtige und zuverlässige Daten sind erforderlich, um Ursachen, Behandlung und Ergebnis nach einem Kreislaufstillstand zu verstehen, unabhängig davon, wo er auftritt. In diesem Kapitel geben wir einen Überblick über Ursachen, Inzidenzen und Ergebnisse von Kreislaufstillständen in Europa. Es ist wichtig, dass lokale Gegebenheiten berücksichtigt werden, wenn die Ergebnisse verglichen werden.

Suchstrategie

Für jeden Abschnitt dieser Leitlinie wurden individuelle Suchstrategien erstellt. Die Suche wurde in Medline durchge-

EPIDEMIOLOGIE 2021

5 KERNAUSSAGEN



REGISTER

1.
 - In jedem Gesundheitssystem sollen die Inzidenz, der Case Mix, die Behandlung und das Outcome von Patienten mit einem Kreislaufstillstand erfasst werden.
 - Der Registerdatensatz soll auf den Empfehlungen des Utstein-Datensatzes aufgebaut sein.

2. PRÄKLINISCHER KREISLAUFSTILLSTAND

- Die in Reanimationsregistern erfassten Daten sollen als Planungsgrundlage für die Entwicklung des Rettungsdienstes genutzt werden.
- Alle Reanimationsregister in Europa sind aufgerufen, sich am European Registry of Cardiac Arrest (EuReCa) Netzwerk zu beteiligen.

3. INNERKLINISCHER KREISLAUFSTILLSTAND

- Daten aus Reanimationsregistern sollen zur Verbesserung der Entwicklung des Gesundheitssystems und zur Verbesserung der Behandlung des Kreislaufstillstandes genutzt werden.

4. LANGZEITÜBERLEBEN

- Kliniker sollen auf die Langzeitfolgen eines überlebten Kreislaufstillstands achten. Eine spezialisierte Behandlung ist notwendig.

5. REHABILITATION

- Mehr wissenschaftliche Studien über und ein größeres Angebot an Rehabilitationsmaßnahmen für Patienten nach überlebtem Herz-Kreislauf-Stillstand sind notwendig.

Abb. 1 ▲ Zusammenfassung der Infografik zur Epidemiologie

führt. Es wurden nur Veröffentlichungen in englischer Sprache aus den letzten 10 Jahren aufgenommen, es sei denn, es war nur sehr wenig Literatur verfügbar. Die Abstracts wurden von mindestens zwei Autoren geprüft und relevante Artikel im Volltext gelesen. Studien, die sich offensichtlich nicht mit europäischen Patienten und Populationen befassten, wurden ausgeschlossen.

Europa und die Welt

Die Inzidenz von IHCA außerhalb Europas wird am umfassendsten anhand von

Daten aus dem Get-With-The-Guidelines-Reanimationsregister der American Heart Association beschrieben [2]. Von 2003 bis 2007 betrug die geschätzte Inzidenz von IHCA in den USA ungefähr 6–7 Kreislaufstillstände pro 1000 Krankenseinweisungen [7]. Daten aus dem Get-With-The-Guidelines-Reanimationsregister der American Heart Association aus dem Jahr 2017 wurden verwendet, um das prozentuale Überleben bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus mit 25% zu beschreiben [8]. Das britische National Cardiac Arrest Audit (NCAA) und das dänische

In-Hospital Cardiac Arrest Registry (DANARREST) dokumentieren beide geringere IHCA-Inzidenzen (1,6 und 1,8 pro 1000 Krankenseinweisungen) im Vergleich zu den Vereinigten Staaten [9, 10]. Außerhalb Europas wurden mehrere Studien zur OHCA-Inzidenz und zum OHCA-Ergebnis veröffentlicht, in denen Überlebensraten zwischen 3 und 6% in Asien [11], 11% in den USA und 12% in Australien und Neuseeland angegeben wurden [12]. Während einige der zwischen diesen Studien beobachteten Abweichungen auf Unterschiede auf Patienten-, Gebiets- und Länderebene zurückzuführen sind, gibt es Berechnungs- und Kategorisierungsunterschiede, die die Varianz erhöhen.

Diese Leitlinien wurden von den Mitgliedern der Epidemiology-Autorengruppe entwickelt und verabschiedet. Die für die Leitlinienentwicklung verwendete Methodik ist in der Zusammenfassung dargestellt [13]. Die Leitlinien wurden im Oktober 2020 zur öffentlichen Kommentierung veröffentlicht. Das Feedback wurde von der Autorengruppe überprüft und die Leitlinien wurden gegebenenfalls aktualisiert. Die Leitlinie wurde der Generalversammlung des ERC am 10. Dezember 2020 vorgelegt und von ihr genehmigt.

Wichtige Fakten

■ Abb. 1.

Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses

- 29 Länder nehmen am Netzwerk des Europäischen Registers für Kreislaufstillstand (EuReCa) teil.
- In etwa 70% der europäischen Länder gibt es Reanimationsregister für den außerklinischen Kreislaufstillstand, wobei die Vollständigkeit der Datenerfassung sehr unterschiedlich ist.
- Die jährliche Inzidenz von OHCA in Europa liegt zwischen 67 und 170 pro 100.000 Einwohner.
- In etwa 50–60% der Fälle (zwischen 19 und 97 pro 100.000 Einwohner) wird eine Wiederbelebung durch Rettungskräfte versucht oder fortgesetzt.

- Die Laienreanimationsrate variiert zwischen und innerhalb von Ländern (durchschnittlich 58 %, Bereich 13 % bis 83 %).
- Der Einsatz automatisierter externer Defibrillatoren (AED) ist in Europa nach wie vor gering (durchschnittlich 28 %, Bereich 3,8 % bis 59 %).
- 80 % der europäischen Länder bieten Telefonreanimation an und 75 % haben ein AED-Register. Die meisten (90 %) Länder haben Zugang zu Cardiac Arrest Zentren für die Postreanimationsbehandlung.
- Die Überlebensraten bei Entlassung aus dem Krankenhaus liegen im Durchschnitt bei 8 % und variieren zwischen 0 % und 18 %.
- Unterschiede in den Rettungsdiensten in Europa sind zumindest für einige der Unterschiede verantwortlich, die bei der OHCA-Inzidenz und den Überlebensraten beobachtet wurden.

Innerklinischer Kreislaufstillstand

- Die jährliche Inzidenz von IHCA in Europa liegt zwischen 1,5 und 2,8 pro 1000 Krankenhauseinweisungen.
- Mit dem Überleben verbundene Faktoren sind der Anfangsrhythmus, der Ort des Kreislaufstillstands und der Grad der Überwachung zum Zeitpunkt des Zusammenbruchs.
- Die Überlebensraten nach 30 Tagen/Entlassung aus dem Krankenhaus liegen zwischen 15 % und 34 %.

Langzeitergebnisse

- In europäischen Ländern, in denen eine Begrenzung von lebenserhaltenden Behandlungen (WLST) bei Aussichtslosigkeit routinemäßig praktiziert wird, wird bei >90 % der Patienten ein gutes neurologisches Ergebnis beobachtet. Die meisten Patienten können wieder arbeiten.
- In Ländern, in denen WLST nicht praktiziert wird, sind schlechte neurologische Ergebnisse häufiger (50 %, 33 % in einem anhaltenden vegetativen Zustand).
- Unter Überlebenden mit einem guten neurologischen Ergebnis sind Müdig-

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:346–366 <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00884-y>
 © European Resuscitation Council (ERC), German Resuscitation Council (GRC), Austrian Resuscitation Council (ARC) 2021

J.-T. Gräsner · J. Herlitz · I. B. M. Tjelmeland · J. Wnent · S. Masterson · G. Lilja · B. Bein · B. W. Böttiger · F. Rosell-Ortiz · J. P. Nolan · L. Bossaert · G. D. Perkins

Epidemiologie des Kreislaufstillstands in Europa. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Zusammenfassung

In diesem Abschnitt der Leitlinien 2021 des Europäischen Reanimationsrates werden wichtige Informationen zur Epidemiologie und zum Ergebnis eines Kreislaufstillstands innerhalb und außerhalb eines Krankenhauses vorgestellt. Wichtige Beiträge aus dem Europäischen Register für Kreislaufstillstände (EuReCa) werden hervorgehoben. Es werden Empfehlungen vorgelegt, die es den Gesundheitssystemen ermöglichen, Register

als Plattform zur Qualitätsverbesserung zu entwickeln und diese für die Planung des Gesundheitssystems und die Maßnahmen zur Behandlung von Patienten nach einem Kreislaufstillstand zu nutzen.

Schlüsselwörter

Kreislaufstillstand · Epidemiologie · Inzidenz des Kreislaufstillstands · European Registry of Cardiac Arrest (EuReCa) · Reanimationsregister

Epidemiology of cardiac arrest in Europe. European Resuscitation Council Guidelines 2021

Abstract

In this section of the European Resuscitation Council Guidelines 2021, key information on the epidemiology and outcome of in- and out-of-hospital cardiac arrest are presented. Key contributions from the European Registry of Cardiac Arrest (EuReCa) collaboration are highlighted. Recommendations are presented to enable health systems to develop registries

as a platform for quality improvement and to provide support for health system planning and responses to cardiac arrest.

Keywords

Cardiac arrest · Epidemiology · Incidence of cardiac arrest · European Registry of Cardiac Arrest (EuReCa) · Resuscitation registry

keit, neurokognitive und emotionale Probleme häufig und führen zu einer verminderten gesundheitsbezogenen Lebensqualität.

- Patienten und Angehörige können eine posttraumatische Belastungsstörung entwickeln.

Rehabilitation nach Kreislaufstillstand

- Die Bereitstellung von Rehabilitationsleistungen nach Kreislaufstillstand ist sehr unterschiedlich.
- Viele Patienten haben keinen Zugang zur Rehabilitation nach Kreislaufstillstand.

Wichtige Empfehlungen (Expertenkonsens)

- Die Gesundheitssysteme sollen bevölkerungsbezogene Reanimati-

onsregister haben, die die Inzidenz, den Fallmix, die Behandlung und die Ergebnisse eines Kreislaufstillstands überwachen.

- Register sollen die Utstein-Empfehlungen für Datendefinitionen und Ergebnisberichte einhalten.
- Daten aus Registern sollen die Planung des Gesundheitssystems und die Reaktionen auf den Kreislaufstillstand beeinflussen.
- Die europäischen Länder werden aufgefordert, sich am EuReCa-Netzwerk zu beteiligen, um das Verständnis der Epidemiologie und der Ergebnisse eines Kreislaufstillstands in Europa zu verbessern.
- Es besteht Bedarf an mehr Forschung und einer besseren Bereitstellung von Rehabilitationsmöglichkeiten nach Wiederbelebung.
- Es wird erwartet, dass die klinische Rolle genetischer und epigenetischer

Tab. 1 Die gemeldete Inzidenz eines Kreislaufstillstands außerhalb des Krankenhauses und die entsprechenden Zahlen der begonnenen Reanimationen

Land	Inzidenz Kreislaufstillstand pro 100.000 Einwohner	Inzidenz von Wiederbelebungsversuchen pro 100.000 Einwohner	Referenz
Spanien	–	19	Rosell-Ortiz 2017 [21]
Irland	–	54	Irish National Out of Hospital Cardiac Arrest Registry (Kreislaufstillstandsregister, Jahresbericht 2019)
Schweden	–	61	Svenska Hjärt-Lung räddningsregistret (www.hlrr.se)
Norwegen	64	51	Tjelmeland 2020 [22]
Dänemark	93	86	Dänisches Reanimationsregister www.ohca.dk
Polen	170	97	Gach 2016 [16]

Faktoren zunehmend verstanden wird, wenn die Forschung in diesem Bereich weiter zunimmt. Derzeit gibt es keine spezifischen Wiederbelebungsempfehlungen für Patienten mit bekannter genomischer Veranlagung.

Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses

Inzidenz

Die tatsächliche Inzidenz von OHCA in Europa ist nicht bekannt. Die verfügbare Literatur basiert größtenteils auf Berichten über OHCA, die vom Rettungsdienst versorgt werden. Dies kann die wahre Inzidenz unterschätzen, da in einigen Ländern aufgrund von kulturellen Begebenheiten oder aus Überzeugung Laien den Rettungsdienst möglicherweise nicht anrufen, wenn sie Zeuge eines Kreislaufstillstands werden. Andere Gründe, warum der Rettungsdienst nicht gerufen wurde, könnten sein, dass das Ereignis nicht beobachtet wurde, der Patient als tot angesehen wurde oder vorab eine Entscheidung gegen eine kardiopulmonale Wiederbelebung (DNACPR) getroffen wurde oder dass der Patient so schwere Komorbiditäten hatte, das auf eine Aktivierung des Rettungsdienstes verzichtet wurde. Fälle von OHCA, zu denen der Rettungsdienst gerufen wird, können in zwei Gruppen unterteilt werden: 1) Fälle, in denen eine Reanimation durchgeführt wurde, und 2) Fälle, in denen keine Reanimation be-

gonnen wurde. Es gibt mehr Informationen über die Anzahl der OHCA-Patienten, bei denen ein Wiederbelebungsversuch durch EMS durchgeführt wurde, als über diejenigen Patienten, die vom EMS erreicht, aber nicht behandelt wurden.

Das Europäische Register für Kreislaufstillstand (EuReCa), ein internationales Projekt des Europäischen Reanimationsrates (ERC), bietet die umfassendsten Informationen zur Epidemiologie des Kreislaufstillstands in Europa [1, 14]. Die gemeldete Inzidenz von Kreislaufstillstand variiert stark zwischen den Ländern, aber auch zwischen den Regionen innerhalb der Länder (Tab. 1; [15–20]). In der EuReCa-ONE-Studie wurden die vom Rettungsdienst bestätigten Kreislaufstillstände mit einer Inzidenz von OHCA auf 84 pro 100.000 Einwohner pro Jahr erhoben. Diese Inzidenz variiert zwischen 28 und 160. Die ermittelte Inzidenz der vom Rettungsdienst begonnenen Reanimationen betrug 49 pro 100.000 Einwohner und variierte zwischen 19 und 104 [14]. Die Folgestudie EuReCa TWO sammelte Daten über drei Monate und berichtete, dass die vom Rettungsdienst bestätigten Kreislaufstillstände bei 89 pro 100.000 Einwohner pro Jahr (zwischen 53 und 166) lagen. Die Inzidenz der vom Rettungsdienst begonnenen Reanimationen betrug 56/100.000 Einwohner (zwischen 27 und 91) [1]. Aus den Studien geht hervor, dass in 50–60% der Fälle der Rettungsdienst mit Reanimationsmaßnahmen begonnen hat. Es ist jedoch

wahrscheinlich, dass eine erhebliche Unterberichterstattung vorliegt und die Variabilität zwischen den Ländern beträchtlich ist (siehe Tab. 1).

Die Anzahl der gemeldeten prähospitalen Kreislaufstillstände in Europa hat in den letzten Jahren im Vergleich zur Situation vor ein oder zwei Jahrzehnten zugenommen. Ob diese Unterschiede eine erhöhte Inzidenz oder einfach eine umfassendere Berichterstattung widerspiegeln, ist unklar. Es ist wahrscheinlich, dass dies zumindest teilweise durch verbesserte Methoden zur Fallermittlung und eine verstärkte Abdeckung durch regionale und nationale Register in den letzten Jahren erklärt wird.

Systemkonfiguration

Eine hohe Variabilität in den Rettungsdiensten ist ein gemeinsames Thema in internationalen Registern oder anderen Datensammlungen [12, 23–26]. Es ist daher wahrscheinlich, dass Unterschiede in den Rettungsdienstsystemen in Europa zumindest einen Teil der Unterschiede beim prähospitalen Kreislaufstillstand und den Überlebensraten ausmachen. In Vorbereitung auf die Überarbeitung der ERC-Wiederbelebungsempfehlungen wurde von Oktober 2019 bis Januar 2020 eine Umfrage in den Rettungsdiensten in 28 europäischen Ländern durchgeführt. Die Umfrage spiegelte frühere internationale Ergebnisse wider und zeigte erhebliche Unterschiede in der Anzahl der Rettungsdiensteinsätze und dem Ausbildungsniveau des Rettungsdienstpersonals, Verfügbarkeit von Hubschraubern (HEMS) und Verfügbarkeit von professionellen Ersthelfern in ganz Europa [22].

Zum Zeitpunkt der Umfrage variierte die Bevölkerungsdichte in den teilnehmenden Ländern zwischen 3,6 und fast 510 Personen/km². Während die Populationsmerkmale einige der Unterschiede erklären, bleiben große Unterschiede in den Rettungsdiensten bestehen. Beispiele hierfür sind die Anzahl der Rettungsdiensteinsätze pro 1000 Einwohner und die Eintreffzeiten. Die meisten Länder gaben an, Krankenhäuser zu haben, die in der Lage sind, nach der Wiederbelebung eine Versorgung bereitzustellen, wie in

den vorherigen ERC-Wiederbelebungsempfehlungen. Es gab jedoch große Unterschiede in der Anzahl der Krankenhäuser mit 24/7-Notaufnahmen pro eine Million Einwohner. Diese Unterschiede in der Verfügbarkeit und Struktur der Gesundheitsdienste können einige der Unterschiede im Überleben und in den Ergebnissen nach einem Kreislaufstillstand erklären.

In 65% der untersuchten Länder waren die Rettungsleitstellen komplett Teil des Rettungssystems, in 14% der Länder war dies nicht für alle Leitstellen der Fall. Die Anzahl der Leitstellen variierte zwischen 0,35 und 3,3 pro eine Million Einwohner, was bedeutet, dass die Größe des Landes oder die Gesamtbevölkerung nicht direkt mit der Anzahl der Leitstellen zusammenhängt. 23 von 28 Ländern gaben an, Telefonreanimation (DA-CPR) anzubieten, und die meisten Länder gaben an, standardisierte Leitstellenprotokolle und Anleitungen zur Telefonreanimation zu verwenden. Einundzwanzig Länder gaben an, AED-Register zu haben, von denen die meisten in Leitstellen verfügbar waren.

Es wurde berichtet, dass in nur 32% der Länder in Europa die mittlere Eintreffzeit des Rettungsdienstes von weniger als zehn Minuten für städtische Gebiete erreicht wurde. In einigen Gebieten der meisten Länder wurden im ländlichen Raum weniger als zehn Minuten mittlere Eintreffzeiten erreicht, in keinem Land jedoch konsistent. Es ist daher ermutigend, dass die Umfrage ergab, dass mindestens 18 europäische Länder First-Responder-Systeme eingerichtet haben. In einer anderen kürzlich durchgeführten europäischen Umfrage wurden jedoch viele Arten von First-Responder-Systemen beschrieben und hervorgehoben, dass Regionen innerhalb von Ländern unterschiedliche Ansätze verfolgen [27]. Die Einführung von First-Responder-Systemen ist positiv, fügt jedoch weitere Unterschiede hinzu, die bei der Erklärung der unterschiedlichen Ergebnisse berücksichtigt werden müssen.

Es wurde auch berichtet, dass die konkrete Behandlung von Patienten mit Kreislaufstillstand in Ländern in Europa unterschiedlich war. Einige Rettungsdienste waren verpflichtet, die Reani-

mation zu beginnen, wenn sie vor Ort ankamen, und die Behandlung nicht abzubrechen, was eine gemeldete Inzidenz von vom Rettungsdienst behandeltem OHCA über 90 pro 100.000 Einwohner ergab. In anderen Ländern konnten Rettungskräfte die Behandlung abbrechen und Patienten nur dann ins Krankenhaus bringen, wenn sie die Rückkehr des spontanen Kreislaufs (ROSC) erreichten. Selbst wenn die Beendigung der Wiederbelebung vor Ort erlaubt war, erlaubten die meisten Länder den Transport unter laufender CPR. Für die meisten Länder wurden besondere Umstände festgelegt, um diese Praxis zu ermöglichen.

In den vorherigen ERC-Wiederbelebungsempfehlungen wurde empfohlen, Patienten mit OHCA mit vermuteter kardialer Ursache in ein Krankenhaus zu bringen, das eine sofortige Koronarrevaskularisation, ein gezieltes Temperaturmanagement und die Möglichkeit zur Durchführung einer Neuroprognose bietet. Seitdem hat die Anzahl der Cardiac Arrest Zenter (CAC) in mehreren europäischen Ländern zugenommen. Derzeit gibt es keine eindeutige Definition eines CAC, aber das übliche Verständnis ist, dass dies eine Akutversorgungseinrichtung ist, die in der Lage ist, rund um die Uhr eine frühzeitige Notfallkoronarangiographie (CAG) und Intervention, ein Temperaturmanagement (TTM) und Intensivpflegeeinrichtungen bereitzustellen [28]. Zwei Interventionen nach Wiederbelebung sind am engsten mit verbesserten Ergebnissen nach Kreislaufstillstand verbunden: frühe CAG und TTM, insbesondere bei Patienten mit einem anfänglich schockbaren Rhythmus und einer vermuteten kardialen Ursache des Kreislaufstillstands [29–38]. Die Gründe für diese Interventionen werden an anderer Stelle erörtert. Die nach OHCA in Europa bereitgestellte CAG- und TTM-Rate ist unterschiedlich und in der Umfrage gaben drei europäische Länder an, keine Krankenhäuser zu haben, die all diese Therapieoptionen für OHCA-Patienten anbieten könnten.

2012 veröffentlichte das Europäische Parlament eine schriftliche Erklärung (0011/2012), in der empfohlen wurde, dass alle Mitgliedstaaten gemeinsame Programme für die Ausbil-

dung von Laien und die Etablierung von AED an öffentlichen Orten verabschieden und die Rechtsvorschriften anpassen sollen, um die Reanimation und Defibrillation durch nicht-medizinisches Personal zu erleichtern. Ebenso wurde eine Organisation der systematischen Datenerfassung zum Kreislaufstillstand für die Möglichkeiten von Feedback und Qualitätsmanagement (<https://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-%2f%2fEP%2f%2fNONSGML%2bWDECL%2bP7-DCL-2012-0011%2b0%2bDOC%2bPDF%2bV0%2f%2fEN>) empfohlen.

Die Erfassung von Registerdaten allein ist keine Garantie für ein verbessertes Überleben. Wenn jedoch keine Kerndaten verfügbar sind, kann die routinemäßige Überwachung und Auswertung der OHCA-Ergebnisse schwierig sein. In der Umfrage gaben 6 Länder an, ein Register mit vollständiger Bevölkerungsabdeckung zu haben, 14 Länder gaben an, eine teilweise Bevölkerungsabdeckung zu haben. In diesen 20 Ländern gaben nur 13 (65%) an, Informationen über ROSC aus allen teilnehmenden Gebieten zu erhalten, und sieben (35%) gaben an, Informationen über ROSC aus einigen Gebieten zu erhalten [22]. Da in 20 der 28 antwortenden Länder Register für Kreislaufstillstand vorliegen, sind somit in vielen europäischen Ländern Registerdaten verfügbar. Die Ergebnisse legen auch nahe, dass eine erneute Anstrengung erforderlich ist, um die Länder zu ermutigen, sicherzustellen, dass Überlebensdaten, die ein zentraler Bestandteil der Datenerfassung sind, durch die Einführung von Registern erfasst werden. Dies ist wichtig, um einen Vergleich der Ergebnisse und ein Benchmarking mit den Ländern zu ermöglichen, die hohe Überlebensraten erzielt haben [6]. ■ **Abb. 2.**

Die systematische Überprüfung des ILCOR ergab (wenig sichere) Beweise dafür, dass die Vertrautheit mit Wiederbelebungsmaßnahmen mehr als jahrelange Erfahrung mit dem Überleben verbunden ist [39]. Ob ein reines Notfallsanitäter- oder ein Notarztssystem die Ergebnisse beeinflusst, ist ungewiss [40, 41]. Es wurde festgestellt, dass Unterschiede in der Rettungsdienstpraxis bei der Einleitung der Wiederbelebung und

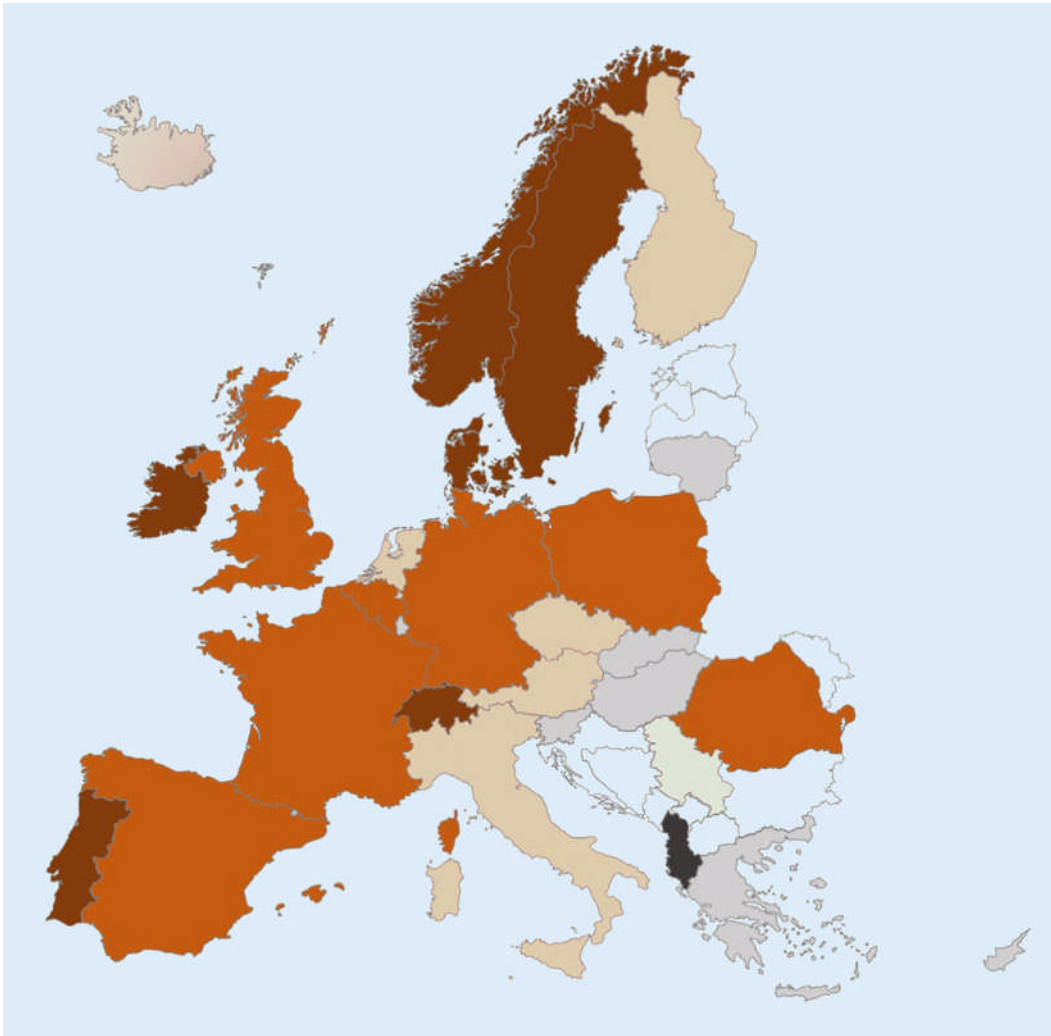


Abb. 2 ◀ Nationale Register in Europa. Die dunkelste Farbe zeigt ein nationales Register an, das das ganze Land abdeckt, die zweitdunkelste Farbe zeigt ein nationales Register an, das Teile des Landes abdeckt, mittelorange zeigt mehrere lokale Register an, hell mit grau zeigt ein lokales Register an, grau zeigt keine lokalen Register an und schwarz definiert unbekannt. Die weiße Farbe zeigt an, dass das Land nicht an der Umfrage teilgenommen hat

des Transports zwischen 10 US-Standorten zur Variation des OHCA-Überlebens beitragen [42]. Rettungsdienste mit den höchsten Überlebensraten hatten häufiger: Teams mit mehr als 6 Rettungsdienstmitarbeitern; ein kürzeres EMS-Anruf-Antwort-Intervall; fortgeschrittenere Atemwegssicherung; und Behandlung von einem ALS-BLS-gestuften System [43]. Die ERC-Umfrage ergab Unterschiede in der Qualifikation des Rettungsdienstpersonals sowie in den fachlichen Abstufungen und den Möglichkeiten der Interventionen, die das Rettungsdienstpersonal unabhängig vom Arzt durchführen durfte. In einigen Teilen von 26 Ländern wurden Teamtrainings in Reanimation unter Einbeziehung aller Rettungskräfte gemeldet, und in 16 Ländern wurden Reanimationsdaten in Echtzeit für Feedback- und Nachbesprechungszwecke gesamt-

melt, die jedoch flächendeckend nur in Zypern verwendet wurden. Defibrillatoren waren in allen zu Reanimationen disponierten Rettungsmitteln verfügbar, während mechanische CPR-Geräte in allen Gebieten von nur drei Ländern verfügbar waren [22].

Überlebenskette

In Europa ist „112“ die einheitliche Notrufnummer (<http://data.europa.eu/eli/dir/2002/21/oj>). Durch Wählen der Nummer 112 können europäische Bürger eine Rettungsleitstelle entweder direkt (in einem Schritt) oder über ein Call-Center erreichen, das den Anruf an eine Rettungsleitstelle weiterleitet (in zwei Schritten). Die meisten europäischen Länder haben auch eine lokale Notrufnummer. Es hat sich gezeigt, dass die Zeit vom ersten Klingelton bis zur Antwort

durch die Leitstellen erheblich länger ist, wenn der Anruf über ein Call-Center weitergeleitet wird, als wenn er direkt in einer Rettungsleitstelle angenommen wird [44]. In einer französischen Studie wurde gezeigt, dass das 30-Tage-Überleben für Patienten mit OHCA besser war, wenn der erste Anruf über ein 1-Schritt-Verfahren im Vergleich zu einem 2-Schritt-Verfahren einging [45].

Die Überlebenskette für OHCA-Patienten wurde ursprünglich 1967 von Friedrich Wilhelm Ahnefeld beschrieben, um alle zeitkritischen Interventionen (als Kettenglieder dargestellt) zur Maximierung der Überlebenschancen hervorzuheben [46]. Das Konzept wurde 1988 von Mary M. Newman von der Sudden Cardiac Arrest Foundation in den Vereinigten Staaten ausgebaut und weiterentwickelt [47]. Es wurde 1991 von der American Heart Association modi-

fiziert und aktualisiert [48]. Das erste Glied in der Überlebenskette ist Früherkennung eines Kreislaufstillstands und der Notruf. Dies geht Hand in Hand mit frühen Wiederbelebensmaßnahmen, die von einem Laien mit oder ohne telefonische Anweisung zur Wiederbelebung (DA-CPR) eingeleitet wurden. Die Laienreanimation bleibt eine der wichtigsten Maßnahmen zur Verbesserung des Überlebens nach OHCA. Sie kann mit einer Verdreifachung des Überlebens und günstigen neurologischen Ergebnissen verbunden sein [49, 50]. Daher wurden viele verschiedene Maßnahmen ergriffen, um die Laienreanimationsrate in ganz Europa und der Welt zu verbessern [51]. Die systematische ILCOR-Überprüfung ergab (sehr wenig sichere) Beweise dafür, dass die telefonische Anleitung zur Reanimation durch die Leitstelle die Ergebnisse eines Kreislaufstillstands verbessert [52]. In den letzten Jahren scheint die telefonische Anleitung zur Reanimation durch die Leitstelle ein Treiber für eine zunehmende Anzahl an Laienreanimationen zu sein [49]. In EuReCa ONE und EuReCa TWO wurde gezeigt, dass die DA-CPR-Rate von 29,9% im Jahr 2014 auf 53,2% im Jahr 2017 gestiegen ist [1, 14].

Trotzdem variiert die Laienreanimationsrate innerhalb und zwischen europäischen Ländern enorm. In der EuReCa-ONE-Studie wurde ermittelt, dass die durchschnittliche Laienreanimationsrate in den 27 teilnehmenden Ländern bei 47,9% lag [14]. 28 europäische Länder wurden in die EuReCa-TWO-Studie 2017 aufgenommen, in der eine Laienreanimationsrate von insgesamt 58% dokumentiert wurde, die von 13% in Serbien bis 83% in Norwegen reichte [1].

Zumindest ein Teil dieser Variation bei der Laienreanimationsrate kann darauf zurückzuführen sein, dass die Definition Laienreanimation europaweit nicht einheitlich ist. Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass es vor der Ankunft des Rettungsdiensts im Falle eines OHCA eine zunehmende Anzahl und eine zunehmend unterschiedliche Qualifikation von Hilfskräften gab, was bedeutet, dass es schwieriger geworden ist zu definieren, ob die Person, die mit der Reanimation

beginnt, als Laie angesehen oder ob sie als Teil des organisierten Rettungsdiensts betrachtet wird [53].

Die Verwendung von AEDs ist in Europa nach wie vor selten. Die durchschnittliche Rate der Anwendung eines AED für OHCA in Europa beträgt 28,1%, wobei ein Schock in 16,5% abgegeben wird [1]. In einigen europäischen Regionen ist die Nutzungsrate eines AED höher. Beispielsweise fand sich in der Region um Amsterdam und Nordholland in 23% bis 59% aller OHCA, zu denen der Rettungsdienst alarmiert wurde, ein AED-Einsatz [54, 55]. Im Gegensatz dazu wurde in Schweden eine Verwendung von AED von 15% angegeben und in Kopenhagen/Dänemark in nur 3,8% der OHCA-Fälle [56, 57]. Es wurden neue Initiativen vorgeschlagen, um die Verwendung von AED zu erhöhen und um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass ein AED verfügbar ist und eingesetzt wird (z. B. durch die Verwendung von Drohnen zum Transport des AED an die Einsatzstelle) [58]. Ebenso wurde die Verwendung von App-basierten Systemen, die potenzielle Helfer lokalisieren und an die Einsatzstelle entsenden, empfohlen. Hier soll der erste Helfer sofort mit der Wiederbelebung starten sowie eine zweite Person entsandt werden, den nächsten AED zu holen [55, 59–61]. Ob ein AED an der Einsatzstelle verfügbar ist, hängt auch vom Ort des OHCA ab. Ungefähr 49% der Unternehmen, die 2012 und 2014 in Belgien an einer fragebogenbasierten Umfrage teilgenommen haben, hatten einen AED in ihren Räumlichkeiten [62].

Ergebnis nach Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses

Wissenschaftliche Empfehlungen und politische Empfehlungen des Europäischen Parlaments (Erklärung des Europäischen Parlaments vom 14. Juni 2012 zur Einrichtung einer europäischen Woche zur Sensibilisierung für Kreislaufstillstand: <https://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P7-TA-2012-0266+0+DOC+XML+V0//DE>) haben hervorgehoben, wie wichtig es ist, dass jedes

Land seine Ergebnisse von OHCA kennt und sich bemüht, sie zu verbessern [63].

Die EuReCa-TWO-Studie ergab eine Gesamtüberlebensrate von 8% nach OHCA in Europa [1]. Eine systematische Überprüfung und Metaanalyse, die 56 Studien aus Europa umfasste, ergab eine Überlebensrate von 11,7% (95%-CI 10,5–13,0%) [64]. Eine Überlebensrate von weniger als 8% (weniger als 3% bei gutem neurologischem Ergebnis, Cerebral Performance Category [CPC] 1–2) wurde von PAROS, dem asiatischen Reanimationsregister [11], berichtet. Das australische Aus-ROC-Register, an dem Australien und Neuseeland beteiligt sind [12], gibt ein Überleben von 12% an. Die USA geben etwa 11% an (9% mit gutem neurologischem Status) [8]. Diese durchschnittlichen Werte basieren auf sehr unterschiedlichen Überlebensraten innerhalb und zwischen den teilnehmenden Ländern. Beispielsweise wurde in der EuReCa-ONE-Studie das durchschnittliche Überleben mit 10,3% angegeben und lag zwischen 1,1 und 30,8% unter den teilnehmenden europäischen Ländern. Die neuesten Daten von EuReCa TWO beschreiben ein durchschnittliches Überleben von 8% (Bereich 0 bis 18%) [1]. In den letzten Jahren wurden auch Überlebensraten aus einzelnen europäischen Ländern gemeldet. England 7,9% [17]; Frankreich 4,9% [65]; Spanien 13% [21]; Deutschland 13,2% (<https://www.reanimationsregister.de/downloads/oeffekter-jahresberichte/rettungsdienst/142-2019-ausserklinischer-jahresbericht-2018/file.html>); Irland 6% [66]; Schweden 11,2% [66]; Dänemark 16% (https://hjerterestopregister.dk/?page_id=428); Norwegen 14% [22].

Das Überleben nach OHCA hängt von vielen Faktoren ab, die über die initialen Wiederbelebensmaßnahmen hinausgehen, und die Variation der Überlebensraten spiegelt die heterogenen Faktoren wider, die zum OHCA geführt haben. Zu den Faktoren, die zur Heterogenität der Überlebensrate beitragen, gehören: Geschlecht [67, 68]; Ursache; initialer EKG-Rhythmus [69–72]; frühere und bestehende Komorbiditäten [73, 74]; Ort [75, 76]; sozioökonomische Benachteiligung [77, 78] und ethnische Zugehörigkeit [79]. Die Gesundheitsorganisation,

die die Versorgung gewährleistet, die verfügbaren Ressourcen und die Fähigkeit der Organisation, jedes einzelne Glied in der Überlebenskette zu koordinieren und zu handeln, sind ebenfalls von entscheidender Bedeutung [80]. Die systematische Überprüfung durch das ILCOR ergab (sehr wenig sichere) Beweise dafür, dass CAC das Überleben von OHCA verbessern [81]. Die Verfügbarkeit spezifischer Postreanimationsmaßnahmen, wie z. B. perkutane Koronarintervention (PCI) [21, 36, 82] und TTM [83–86] oder zentraleres CAC [87, 88], sind weitere Faktoren, die zur Variabilität des Patientenüberlebens beitragen können [89–94]. Auf nationaler Ebene werden die Gesundheitspolitik, rechtliche und strategische Initiativen, die im breiteren gesellschaftlichen Netzwerk durchgeführt werden, die Anzahl der OHCA-Überlebenden und ihre spätere Lebensqualität beeinflussen [95].

Es ist bekannt, dass selbst innerhalb von Rettungsdiensten mit ähnlichen Strukturen oder zwischen Regionen desselben Landes Schwankungen bei den Überlebenszahlen vorkommen, selbst wenn demografische Überlegungen, Merkmale des Ereignisses und die Reaktion der Gemeinschaft berücksichtigt werden [14]. Es gibt auch Variabilität innerhalb der Rettungsdienste selbst über verschiedene Zeiträume, was normalerweise die Tendenz widerspiegelt, das Überleben zu verbessern, wenn Maßnahmen implementiert werden, die nachweislich Auswirkungen auf das endgültige Überleben haben [26, 95]. Eine Variabilität des Prozentsatzes der Wiederbelebungsversuche wurde auch zwischen Ländern in Europa und zwischen verschiedenen Rettungsdiensten im selben Land beobachtet [1, 14, 96]. Trotz des Bewusstseins all dieser Nuancen bleibt ein wichtiger Teil der Variabilität, der mit aktuellen Datenerfassungssystemen schwer zu erklären ist [66]. In der Tat ist die Variabilität zwischen den Ergebnissen beim Vergleich von Daten aus Registern mit a priori definierten Zielen im Vergleich zu retrospektiven Daten aus mehr administrativ ausgerichteten Registern bemerkenswert [8, 97]. Dasselbe passiert, wenn Daten aus Registern mit klinischen Studien

verglichen werden, die von denselben Rettungsdiensten durchgeführt wurden [17, 98–100].

Die robuste Erfassung von Schlüsseldatenelementen (z. B. anfänglicher EKG-Rhythmus, Beobachtungsstatus, Ursache des Kreislaufstillstands) ermöglicht die Analyse des Überlebens in bestimmten Untergruppen. Die neuesten Utstein-Veröffentlichungen empfehlen die Kategorisierung von Patienten [6]. Die Utstein-Vergleichsgruppe (kardiale Ursache, Beobachtungsstatus schockbarer Anfangsrhythmus) ist die Gruppe mit höheren Überlebenschancen der Patienten. Diese liegt bei ungefähr 20 % für England und etwas mehr als 30 % für die übrigen Standorte innerhalb des EuReCa-Netzwerks [19, 101]. Einzelne Länder (Dänemark, Niederlande, Schweden, Tschechische Republik und Norwegen) hatten in der EuReCa-TWO-Studie Überlebensraten von 40 % für diese Patientengruppe [1].

Das Überleben von Patienten mit traumatischer Ätiologie war mit einem beschriebenen Überleben zwischen 2 % im deutschen Register und 2,8 % in EuReCa TWO und bis zu 6,6 % mit gutem neurologischem Status bei Entlassung in einer Kohorte aus einem spanischen Rettungsdienst weniger ermutigend [1, 102, 103]. Der Start einer Wiederbelebung nach einem traumatischen Kreislaufstillstand wurde früher als zwecklos angesehen [104], aber seit 2015 bietet ein spezifischer ERC-Algorithmus Empfehlungen und Interventionen an, die ein vermehrtes Überleben ermöglichen können [105].

Pädiatrischer OHCA (POHCA)

Die unterschiedliche Definition des pädiatrischen Alters bedingt, dass es schwierig ist, die Überlebensraten bei POHCA zu vergleichen. Die am weitesten verbreitete Definition sind Patienten unter 18 Jahren; einige Studien haben jedoch Patienten bis zu 21 Jahren eingeschlossen. Abhängig von den analysierten Altersgruppen gibt es unterschiedliche Merkmale, Ursachen und Überlebensraten [106]. Die meisten Daten zum POHCA-Überleben stammen aus amerikanischen und japanischen Registern

[107, 108] mit nur Teildaten aus lokalen Registern [109, 110]. Die umfangreichsten Daten aus Europa in Bezug auf die Anzahl der Fälle und Trends im Zeitverlauf stammen aus dem schwedischen Register [111]. Von 1990 bis 2012 dokumentierte das schwedische Register eine Inzidenz von 4,9 Fällen pro 100.000 Personennjahre unter 21 Jahren vor Eintreffen des Rettungsdiensts. Das berichtete Überleben war wie folgt: Säuglinge (weniger als 1 Jahr) 5,1 %; kleine Kinder (1–4 Jahre) 11,0 %; ältere Kinder (5–12 Jahre) 7,5 %; Jugendliche (12–21 Jahre) 12,6 %. In den Fällen, in denen der Kreislaufstillstand vom Rettungsdienst beobachtet wurde, betrug das Überleben 14,9 %, 22 %, 21,2 % und 17,9 % für die gleichen Altersgruppen in den Jahren 2011 und 2012 [112]. Schwedische Daten deuten darauf hin, dass das POHCA-Überleben zunehmend gestiegen ist.

Kreislaufstillstand im Krankenhaus

Ebenso wie für den prähospitalen Kreislaufstillstand (OHCA) ist die tatsächliche Inzidenz eines Kreislaufstillstands im Krankenhaus (IHCA) nicht bekannt. Die verfügbare Literatur stammt häufig aus einzelnen Zentren, was die Generalisierbarkeit erschwert, und letztendlich sterben alle Patienten, die im Krankenhaus sterben, an einem Kreislaufstillstand. Im Jahr 2019 wurde eine aktualisierte Berichtsvorlage im Utstein-Stil für IHCA veröffentlicht, in der die Bedeutung eines gemeinsamen Berichtsformulars für Datensätze hervorgehoben wird, um einen Vergleich zwischen Regionen und Ländern zu ermöglichen [113].

Inzidenz

Die tatsächliche Inzidenz von IHCA ist aus mehreren Gründen schwer einzuschätzen. Letztendlich haben alle Patienten, die im Krankenhaus sterben, einen Kreislaufstillstand, aber all diese Todesfälle gelten nicht als Kreislaufstillstand, der für eine Wiederbelebung in Betracht gezogen werden soll. Eine Studie aus Göteborg in Schweden verglich die Gesamtzahl der Todesfälle im Krankenhaus während eines Jahres mit der

Anzahl der Wiederbelebungsversuche und beschrieb, dass die Wiederbelebung nur bei 12% aller Kreislaufstillstände im Krankenhaus begonnen wurde [114]. In Schweden wurde ein Verhältnis von OHCA zu IHCA von 1,7 zu 1 angegeben (schwedisches Register für kardiopulmonale Wiederbelebung [Svenska Hjärt-Lung-räddningsregistret] [1. November 2012]).

Viele IHCA-Studien sind nur eingeschränkt verallgemeinerbar, da sie in einzelnen Zentren durchgeführt wurden. Unterschiede in der DNACPR-Politik zwischen den Ländern erklären wahrscheinlich einige der Unterschiede in der Inzidenz von IHCA [115]. Aufgrund logistischer Probleme kann es auch zu Schwierigkeiten bei der Meldung von IHCA kommen. Beispielsweise werden Patienten, die während einer Koronarangiographie Kammerflimmern (VF) entwickeln und die schnell defibrilliert werden, möglicherweise nicht immer einem Register gemeldet.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten zur Berechnung der IHCA-Inzidenz: IHCA/Krankenhausbett, IHCA/Krankenhauseinweisung, IHCA/Land/Region/Stadt/Staat. Die Inzidenz von IHCA pro 1000 Krankenhauseinweisungen wurde in Polen mit 2,8 angegeben [116], 1,8 in Dänemark [10] und Norwegen (unveröffentlichte Beobachtung), 1,7 in Schweden [117], 1,6 im Vereinigten Königreich [9] und 1,5 in der Region Piemont in Italien [118]. Eine Studie aus Trondheim in Norwegen dokumentierte 72 IHCA-Ereignisse pro 1000 Krankenhausbetten [119].

Das Geschlecht beeinflusst auch die Inzidenz. Das Inzidenzverhältnis von Männern zu Frauen für IHCA wurde mit 1,4–1,6 zu 1 angegeben [119]. Dies kann größtenteils durch eine höhere Prävalenz und eine höhere Mortalität aufgrund von Herz-Kreislauf-Erkrankungen bei Männern erklärt werden [120].

In einer kürzlich durchgeführten europäischen Umfrage gaben 18 von 28 Ländern an, ein nationales Register für IHCA zu haben, aber nur zwei Länder (Schweden und Dänemark) gaben an, dass alle Krankenhäuser eingeschlossen waren [22].

Systemkonfiguration und Überlebenskette

Im Jahr 2017 wurden 89,4 Mio. Menschen stationär in Krankenhäusern in ganz Europa behandelt, eine Zahl, die in den letzten Jahren zugenommen hat (Eurostat. Statistiken über Krankenhausentlassungen und Aufenthaltsdauer – Erklärung der Statistiken [zitiert am 18. Januar 2020]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Hospital_discharges_and_length_of_stay_statistics#Hospital_discharge). Leider ist die medizinische Versorgung im Krankenhaus nicht frei von Komplikationen und schwerwiegenden unerwünschten Ereignissen, die bei ungefähr 10 bis 20% aller Patienten auftreten [121]. In einer großen europäischen Beobachtungsstudie, an der ungefähr 46.000 postoperative Patienten teilnahmen, lag die Mortalität bei 4%, mit großen Unterschieden zwischen den Ländern [122]. Das alarmierendste Ergebnis dieser Studie war jedoch der hohe Anteil an „Rettungsversagen“, da 73% der verstorbenen Patienten zu keinem Zeitpunkt nach der Operation auf eine Intensivstation aufgenommen wurden. Unerwünschte Ereignisse wurden teilweise durch eine nicht optimale Versorgung verursacht, die meisten waren jedoch auf eine Verschlechterung der Grunderkrankung zurückzuführen. Es gibt zwei Hauptunterschiede zwischen IHCA und OHCA hinsichtlich der Erkennung und Verhinderung eines Kreislaufstillstands. Erstens werden in den meisten Fällen lebensbedrohliche Ereignisse im Krankenhaus durch eine Verschlechterung der Vitalfunktionen Stunden oder sogar Tage vor dem Auftreten des katastrophalen Ereignisses angekündigt und können daher frühzeitig erkannt und damit verhindert werden [121]. Zweitens soll eine angemessene Überwachung der Patienten die Früherkennung von Risikopatienten ermöglichen, und daher soll das Notfallteam vorzugsweise als medizinisches Notfallteam (MET) oder schnelles Reaktionsteam (RRT) fungieren und anstelle eines reinen Reanimationsteams, welches ausschließlich für Reanimationsmaßnahmen zustän-

dig ist, aufgestellt sein. Wenn Patienten unzureichend überwacht werden, kann die lebensbedrohliche Situation zu spät bemerkt werden und es kann zu einem Anstieg der Reanimationsraten im Krankenhaus und zu mehr unerwarteten Todesfällen kommen [123]. Diese Entwicklung kann sich aufgrund der zunehmenden Arbeitsbelastung in den Krankenhäusern und der zunehmenden Komorbidität der Patienten sogar beschleunigen. Der ILCOR-2020-Konsens zu Wissenschafts- und Behandlungsempfehlungen ergab (wenig sichere) Beweise dafür, dass Schnellreaktionssysteme die Inzidenz von IHCA verringerten und die Mortalität verbesserten, was zu einer (schwachen) Empfehlung führte, die die Einführung eines Schnellreaktionssystems (Rapid-Response-System) oder Reaktionsteam/medizinisches Notfallteam unterstützte [39]. Dies ergänzt die vom ERC eingeführten Leitlinien zur Einrichtung eines Frühwarnsystems für unerwartete Notfälle [123].

IHCA – Systeme zur Erkennung kritischer Krankheiten

Am 23. Juni 2017 gaben der Europäische Wiederbelebungsrat, das European Board of Anaesthesiology und die European Society of Anaesthesiology eine gemeinsame Erklärung ab, in der die europäischen Krankenhäuser aufgefordert wurden, alle dieselbe interne Telefonnummer (2222) zu verwenden, um bei einem Kreislaufstillstand Hilfe zu rufen. Es ist zu hoffen, dass durch die Implementierung einer einzigen Notrufnummer im Krankenhaus die Zeit für Hilferufe verkürzt wird [124].

IHCA – Antwortzeiten

Medizinische Notfallteams (MET) oder Rapid-Response-Teams (RRT) unterscheiden sich von Teams, die ausschließlich als Reanimationsteam agieren, darin, dass ihr Ziel die rechtzeitige Identifizierung und Behandlung von Notfällen im Krankenhaus ist, um Kreislaufstillstände und unerwartete Todesfälle zu vermeiden [125] (siehe ALS-Leitlinien). Im Gegensatz zu OHCA, wo die Zeit vom Kreislaufstillstand bis zur Einleitung von Wiederbelebungsmaßnahmen (entweder durch Laien oder durch den

Rettungsdienst) von entscheidender Bedeutung ist, beziehen sich die Daten zur RRT-Leistung weitgehend auf Kriterien, die den Alarm auslösen, Komorbiditäten und die Krankenhausaufenthaltsdauer vor dem Alarm der betroffenen Patienten [126]. Verzögerungen in der Behandlung sind mit einem schlechteren Ergebnis verbunden [127].

Daten zu den Reaktionszeiten des traditionellen Wiederbelebungsteams nach IHCA sind ebenfalls rar. Daten aus einem großen schwedischen Register zeigten jedoch, dass eine Verzögerung von mehr als einer Minute vom Kreislaufstillstand bis zum Anruf oder bis zum Beginn der Reanimation, eine Verzögerung von mehr als 2 min vom Anruf bis zum Eintreffen des Rettungsteams und eine Verzögerung von mehr als 3 min vom Kreislaufstillstand bis zur Defibrillation alle mit einem schlechteren Gesamtergebnis verbunden waren [128].

Es gibt nur wenige Studien, die die Wirksamkeit von MET bei der Verringerung der Häufigkeit unerwarteter Todesfälle, der ungeplanten Aufnahme auf die Intensivstation (ICU) oder beidem bewerten. Ein Hauptproblem besteht darin, dass keine Evidenz mit hoher Sicherheit erzielt werden kann, da eine Randomisierung einzelner Patienten zur Versorgung durch eine MET im Vergleich zu einer Kontrollgruppe unmöglich ist. Die verfügbaren Erkenntnisse stammen daher hauptsächlich aus Beobachtungsstudien, Vorher-nachher-Untersuchungen oder Berichten, bei denen einige Krankenhäuser ein MET einführten, während andere Krankenhäuser in demselben Gebiet oder derselben Krankenhausorganisation dies nicht getan hatten. In der jüngsten Metaanalyse zu diesem Thema, die 29 Studien mit 2.160.213 Patienten (1.107.492 in der Interventionsgruppe und 1.052.721 in der Kontrollgruppe) umfasste, wurden MET mit einer signifikant verringerten Krankenhausmortalität und Inzidenz eines Kreislaufstillstands in Verbindung gebracht [125]. Obwohl es schwierig ist, die Wirksamkeit der MET-Implementierung anhand evidenzbasierter Kriterien nachzuweisen, deutet die pathophysiologische Argumentation darauf hin, dass die Erkennung und angemessene

Behandlung von Patienten vor dem Auftreten eines katastrophalen Ereignisses richtig ist. Das Timing ist in vielen Bereichen der Akutversorgung wie Sepsis, Myokardinfarkt und Schlaganfall wichtig.

IHCA-Ergebnis

Viele Faktoren bestimmen das Ergebnis von Patienten mit einem IHCA. Einige dieser Faktoren können beeinflusst werden, andere nicht. Zu den Faktoren, die nicht beeinflusst werden können, gehören Alter, Geschlecht und Komorbiditäten der Patienten. Beispielsweise haben ältere Patienten nach IHCA eine geringere Überlebenschance [129, 130]. In den meisten Fällen kann die Ursache des Kreislaufstillstands nicht beeinflusst werden. Ein Patient mit einem durch Myokardinfarkt/Ischämie verursachten Kreislaufstillstand hat eine viel bessere Überlebenschance als ein Patient mit einem Kreislaufstillstand aus anderen Gründen, z. B. Herzinsuffizienz.

Ein veränderbarer Faktor von großer Bedeutung ist der Ort im Krankenhaus, an dem der Kreislaufstillstand auftritt. Wenn der Kreislaufstillstand auf einer allgemeinen Station auftritt, wird der Patient normalerweise nicht ausreichend überwacht und der Kreislaufstillstand kann möglicherweise nicht beobachtet werden. Diese Faktoren sind mit einer geringeren Überlebenschance verbunden [117, 131]. Die Überwachung des EKG zum Zeitpunkt des Kollapses ist mit einer Verringerung des bereinigten Todesrisikos nach IHCA um 38% verbunden. Die Lage im Krankenhaus und die geografische Lage sind die wichtigsten Prädiktoren für die EKG-Überwachung zum Zeitpunkt des Kreislaufstillstands [132]. Die signifikante Variabilität bei der EKG-Überwachung in verschiedenen Zentren kann auf die Notwendigkeit von Leitlinien für die Verwendung der EKG-Überwachung hinweisen.

Ein erster aufgezeichneter Rhythmus von VF sagt eine höhere Überlebenschance voraus [131, 133]. Je früher das EKG abgeleitet wird, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Kammerflimmern vorgefunden wird [134]. Ein weiterer Faktor, der am häufigsten

nicht beeinflusst werden kann, ist die Uhrzeit, zu der der Kreislaufstillstand eintritt. Es besteht eine höhere Überlebenschance, wenn der Kreislaufstillstand von Montag bis Freitag während der regulären Arbeitszeit eintritt [134]. Die Zeit bis zum Start der Behandlung ist mit dem Überleben von IHCA-Patienten verbunden. Dies gilt sowohl für schockbare als auch nicht schockbare Rhythmen [117].

Ein wichtiger Faktor für die Überlebenschance nach Wiederbelebung ist schließlich die Politik des Krankenhauses in Bezug auf DNACPR-Entscheidungen. In Krankenhäusern, in denen bei einem sehr hohen Anteil der Patienten eine DNACPR-Entscheidung vorhanden ist, wird eine höhere Überlebensrate bei Patienten mit IHCA erwartet, als bei Krankenhäusern, in denen Wiederbelebungsbemühungen auch in vergeblichen Fällen häufiger sind. Daher ist es nicht überraschend, dass die Berichte über ROSC und das Überleben bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus oder das 30-Tage-Überleben erheblich variieren [9, 116–119, 135–138]. Die Wahrscheinlichkeit von ROSC variiert zwischen 36% [118] und 54% [136] und die Überlebenschance bis zur Entlassung/30 Tage variiert zwischen 15% [118] und 34% [136].

Langzeitüberleben

Genesung und Rehabilitation von Überlebenden nach Kreislaufstillstand

Die Empfehlungen im Utstein-Style-Protokoll definieren die Variablen, die bei OHCA erfasst werden sollen, und die zu verwendende Aufzeichnungsmethode [5]. Seit der Einführung des Utstein-Style-Protokolls hat das Überleben der Patienten und der nachfolgende neurologische Status zunehmend an Bedeutung gewonnen [6]. Die Anzahl der Patienten, die einen anhaltenden ROSC erreichen, ist eine Schlüsselvariable geblieben, da dies eines der ersten Kriterien für die Entscheidung ist, ob eine Postreanimationsbehandlung angemessen ist. Im Utstein-Style-Protokoll kann das neurologische Ergebnis unter Verwendung der Cere-

bral Performance Category (CPC) oder der modifizierten Rankin Scale (mRS) erfasst werden [139, 140]. Obwohl diese Variablen einen allgemeinen Eindruck vom neurologischen Status vermitteln, liefern sie keine spezifischen Informationen über die Lebensqualität von OHCA-Überlebenden.

Messung der Langzeiterholung bei Patienten mit Kreislaufstillstand

Eine systematische Überprüfung aus dem Jahr 2015 ergab, dass 89 % der randomisierten, kontrollierten Studien zum Kreislaufstillstand die Genesung nach Entlassung aus dem Krankenhaus nicht bewerteten und keine die Patientenperspektive in Bezug auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität (HRQoL) oder die gesellschaftliche Beteiligung berücksichtigte [141]. Neuere klinische Studien haben solche Erfassungen eingeschlossen, aber diese sind immer noch relativ selten [142]. Eine kürzlich durchgeführte Umfrage ergab, dass nur wenige Register in Europa HRQoL-Messungen enthielten, obwohl die Erfassung dieser Daten bei der Aktualisierung des Utstein-Style-Protokolls für Wiederbelebungsregister empfohlen wurde [6, 22, 113].

Im Jahr 2018 wurde ein Kerndatensatz für die Beschreibung des Überlebens nach einem Kreislaufstillstand (Core Outcome Set for Cardiac Arrest = COSCA) veröffentlicht, der Leitlinien für die Standardisierung der Ergebnisdefinition, der Instrumente zur Bewertung der Genesung und der Zeitpunkte für klinische Studien mit Erwachsenen enthält [142, 143]. In jüngerer Zeit wurden weitere Leitlinien für pädiatrische klinische Studien (P-COSCA) veröffentlicht (Topjian 2020, in press, *Resuscitation*). Beide zentralen Kerndatensätze basierten auf umfangreichen Arbeiten zur Ermittlung von Ergebnissen, die aus verschiedenen Perspektiven wichtig sind, darunter Patienten, Familien, Angehörige der Gesundheitsberufe und Forscher. COSCA für Erwachsene empfiehlt als Mindestbewertung das Überleben nach 30 Tagen oder die Entlassung aus dem Krankenhaus, die neurologische Funktion nach 30 Tagen oder bei der Entlassung aus dem Krankenhaus mit dem mRS und der Bewertung

der HRQoL nach 90 Tagen (und später) entweder mit dem HUI-3 (Gesundheit Utilities (Index Version 3), SF-36 (Kurzform 36-Punkte-Gesundheitsumfrage) oder EQ-5D-5L (EuroQol 5-Dimensionen-5-Level-Version). In ähnlicher Weise empfiehlt P-COSCA auch die Bewertung des Überlebens und des neurologischen Ergebnisses, bewertet mit der Pediatric Cerebral Performance Category (PCPC). Es werden jedoch drei weitere Kernkomponenten von HRQoL oder Auswirkungen auf das Leben spezifiziert: kognitive Funktion, körperliche Funktion und grundlegende Fähigkeiten des täglichen Lebens, die alle nach sechs Monaten (und später) mit dem PEDSQL (Pediatric Quality of Life Inventory) bewertet werden. Eine weiter verbreitete Verwendung der COSCA-Empfehlungen kann möglicherweise das Wissen über Langzeitergebnisse für Überlebende mit Kreislaufstillstand verbessern. Eine Einschränkung der COSCA-Empfehlungen besteht darin, dass sie nur eine Mindestanzahl von Messungen umfassen. Daher wird empfohlen, je nach Ziel der Studie auch symptom- und zustandsspezifische Maßnahmen anzuwenden.

Neurologisches Ergebnis

Schwere hypoxisch-ischämische Hirnschädigungen sind das schwerwiegendste Ergebnis für Überlebende nach Kreislaufstillstand. Sie werden häufig anhand von ordinalen hierarchischen funktionellen Ergebnisskalen wie der CPC (Cerebral Performance Category Scale), der modifizierten Rankin Scale (mRS) oder der Glasgow Outcome Scale (GOS) oder Glasgow Outcome Scale Extended beschrieben (GOSE) beschrieben. Diese Skalen werden häufig zu einem „guten“ oder „schlechten“ Ergebnis vereinfacht, indem Patienten als unabhängig bei grundlegenden Aktivitäten des täglichen Lebens im Vergleich zu abhängig von anderen, in einem vegetativen Zustand oder Tod beschrieben werden. Ein günstiges neurologisches Ergebnis wird normalerweise als CPC 1 oder 2, mRS 0 bis 3 oder GOS 4–5/GOSE 5–8 angesehen.

In den meisten europäischen Ländern, in denen routinemäßig der Entzug einer

lebenserhaltenden Behandlung (WLST) praktiziert wird, wird bei <10 % der Überlebenden mit Kreislaufstillstand ein schlechtes neurologisches Ergebnis beobachtet (Irish National Out-of-Hospital Cardiac Arrest Register 2018, erhältlich unter <https://www.nuigalway.ie/ohcar/>) [144]. In Situationen, in denen WLST nicht angewendet wird, ist eine schwere hypoxisch-ischämische Hirnschädigung wesentlich häufiger. Zum Beispiel berichtete eine italienische Studie, dass mehr als 50 % ($n=119$) der Überlebenden sechs Monate nach dem Ereignis ein schlechtes Ergebnis hatten, wobei ein Drittel ($n=68$) in einem anhaltenden vegetativen Zustand war [145].

Unter Überlebenden nach Kreislaufstillstand, die mit einem guten Ergebnis eingestuft wurden, können sich die Auswirkungen einer hypoxisch-ischämischen Hirnschädigung auf den Alltag auswirken. Die am häufigsten gemeldeten neurologischen Folgen sind neurokognitive Beeinträchtigungen für alle Überlebenden in der frühen Phase [146] und in etwa 40–50 % langfristig [147–151]. Die meisten Verbesserungen der Wahrnehmung treten in den ersten drei Monaten auf [152, 153], es wurden jedoch bis zu einem Jahr später noch Verbesserungen beschrieben [152]. In einer spanischen Studie hatte die Hälfte der Überlebenden ($n=79$) drei Jahre nach dem Ereignis eine kognitive Beeinträchtigung [147]. Eine kognitive Beeinträchtigung in der chronischen Phase ist meist leicht bis mittelschwer, bei 20 bis 26 % der Überlebenden wird jedoch eine mittelschwere bis schwere Beeinträchtigung festgestellt [149, 151, 154]. Zu den am häufigsten betroffenen kognitiven Domänen gehören: episodisches/Langzeitgedächtnis [147, 149–151, 154]; Aufmerksamkeits-/Verarbeitungsgeschwindigkeit [147, 149, 150, 154] und ausführende Funktionen [147, 150, 151, 153, 154]. Es wurden auch Beeinträchtigungen in anderen Domänen beschrieben [148, 154].

Derzeit gibt es nur wenige Studien zum neurologischen Ergebnis von Überlebenden nach pädiatrischem Kreislaufstillstand in Europa. Die umfassendsten Daten stammen von einem Team in

den Niederlanden, das zwei bis elf Jahre nach dem Kreislaufstillstand eine neuropsychologische Untersuchung an einer Stichprobe von 41 Überlebenden nach pädiatrischem Kreislaufstillstand (Alter 0–18) durchführte [155]. Auf Gruppenebene war die allgemeine Intelligenz im Vergleich zum Durchschnitt geringer, und Bereiche des Erinnerens und der geteilten Aufmerksamkeit waren besonders betroffen [155]. Lehrer ($n=15$) von Überlebenden nach Kreislaufstillstand berichteten über Planungs-/Organisationsprobleme, während Eltern ($n=31$) und Patienten ($n=8$) keine dysexekutiven Probleme berichteten [155]. Dieselben Autoren berichten auch über signifikante Aufmerksamkeitsprobleme bei diesen Überlebenden des pädiatrischen Kreislaufstillstands [156], von denen 15% spezielle Unterrichte brauchten [157].

Vom Patienten berichtete Ergebnisse

Es gibt keine spezifischen vom Patienten berichteten Ergebnismaße (PROM) für den Kreislaufstillstand [158]. Von Patienten berichtete Ergebnisse der generischen HRQoL zeigen, dass sich Überlebende nach Kreislaufstillstand – auf Gruppenebene – nicht von der allgemeinen Bevölkerung unterscheiden [159, 160]. Trotzdem zeigten detaillierte Analysen, dass mehrere HRQoL-Subdomänen bei Überlebenden nach Kreislaufstillstand schlechter sind, und symptom-spezifische Fragebögen zeigen, dass nuancierte kardiale, kognitive, physische und emotionale Probleme häufig sind [148, 161, 162]. In einer Schweizer Studie gaben nur 29% der Überlebenden nach Kreislaufstillstand ($n=50$) keine Beschwerden an [154], in einer anderen Studie beschrieben fast 43% der Überlebenden ($n=442$) 6 Monate nach ihrem Kreislaufstillstand, dass ihr Gesundheitszustand schlechter sei als vor einem Jahr [163]. Es ist anzumerken, dass sich die HRQoL mindestens im ersten Jahr nach dem Kreislaufstillstand weiter verbessert [160].

Das am häufigsten vom Patienten gemeldete Symptom nach Kreislaufstillstand ist Müdigkeit, das von 50 bis 71% der Überlebenden berichtet wird

[154, 160, 162]. Viele Überlebende berichten auch über kognitive Probleme, einschließlich der Wahrnehmung von „Verlangsamung“ oder Problemen mit Aufmerksamkeit oder Gedächtnis [154, 164, 165]. Die Assoziationen zwischen selbst berichteten kognitiven Beschwerden und objektiven kognitiven leistungs-basierten Maßnahmen wurden gemischt [153, 154].

Ein weiteres häufig von Patienten berichtetes Ergebnis sind emotionale Probleme, die in den ersten Wochen nach dem Kreislaufstillstand am schwerwiegendsten [160, 166, 167] und mit einer schlechteren HRQoL verbunden sind [168]. Nach drei Monaten wurde der emotionale Status in verschiedenen Studien als stabil gemeldet [160], besser [169] oder schlimmer [152] im Vergleich zu zwölf Monate nach dem Kreislaufstillstand. Emotionale Probleme waren häufiger bei Frauen [169–171], jüngeren Patienten [163, 165, 169, 171], bei Patienten mit kognitiven Problemen [171] und solchen mit Komorbiditäten [169].

Überlebende nach Kreislaufstillstand mit hypoxisch-ischämischer Hirnschädigung haben ebenfalls ein erhöhtes Risiko für emotionale Probleme [172]. Da diese Patienten jedoch häufig in Analysen fehlen, ist die Häufigkeit emotionaler Probleme bei Überlebenden nach Kreislaufstillstand vermutlich unterschätzt [171]. Größere Studien in diesem Bereich (>100 Patienten) mit symptom-spezifischen Fragebögen berichten langfristig über Angstzustände bei 15–24% und/oder Depressionen bei 13–15% [160, 165, 170, 171]. Die Symptome von Stress und posttraumatischer Belastungsstörung (PTBS) sind weniger gut untersucht, wurden jedoch bei 16% bis 28% der Überlebenden festgestellt [160, 167, 173, 174]. In einer Studie berichtete die Hälfte der Überlebenden sechs Monate nach dem Kreislaufstillstand über eine Änderung des Verhaltens und der Emotionen ($n=50$) [154]. Apathie, mangelnder Antrieb und mangelnde Motivation wurden auch bei 70% der Patienten berichtet, die an einem kognitiven Rehabilitationsprogramm nach Kreislaufstillstand teilnahmen ($n=38$), obwohl dieser Befund enger verbunden

war mit kognitiven Beeinträchtigungen als Depressionen [175].

Angehörige von Patienten nach Kreislaufstillstand haben ebenfalls ein erhebliches Risiko für emotionale Probleme [176–178]. Eine Studie aus der Schweiz ergab, dass 40% der Verwandten an PTBS litten [178]. Das weibliche Geschlecht, in der Vorgeschichte beschriebene Depressionen und die Wahrnehmung unzureichender therapeutischer Maßnahmen auf der Intensivstation erhöhten das Risiko für PTBS, während das Ergebnis des Patienten, einschließlich der Mortalität, keinen Zusammenhang hatte [178]. Wenn Angehörige Zeugen des Kreislaufstillstands waren, erhöhte sich das Risiko für emotionale Probleme [177]. Kognitive Beeinträchtigungen des Überlebenden waren mit einer erhöhten Belastung der Pflegekräfte verbunden [176, 179].

Körperliche Probleme nach Kreislaufstillstand haben nur begrenzte Aufmerksamkeit erhalten, aber die Ergebnisse der HRQoL-Messung zeigen, dass viele Überlebende nach Kreislaufstillstand über körperliche Probleme berichten [159, 163, 176, 180]. Die Hälfte der Überlebenden nach Kreislaufstillstand beschrieb Probleme beim Arbeiten oder Ausführen anderer Aktivitäten aufgrund körperlicher Probleme [163], und 30–50% berichteten von Problemen mit körperlicher Gesundheit [176], körperlicher Funktion [163] oder Mobilität [160, 162, 170]. Körperliche Probleme treten häufiger bei älteren Überlebenden [163, 176] und bei Frauen auf [163].

Von Patienten/Eltern berichtete Ergebnisse bei Überlebenden nach pädiatrischem Kreislaufstillstand sind selten. Eine Studie ($n=57$) berichtete, dass die Mehrheit der pädiatrischen Überlebenden (2–11 Jahre nach der Intensivstation) keine Probleme hat, während 30% körperliche Probleme und 34% chronische Symptome wie Müdigkeit, Kopfschmerzen und Verhaltensprobleme berichteten [157]. Kinder ($n=8$) berichteten über eine HRQoL, die mit dem Durchschnitt vergleichbar ist, während die von einem Elternteil ($n=45$) gemeldete HRQoL eine niedrigere generische HRQoL und mehr körperliche Probleme anzeigte. Die HRQoL der Eltern war jedoch besser als die der Allgemeinbevölkerung [157].

Fähigkeit, zu früheren Aktivitäten und Aufgaben zurückzukehren (gesellschaftliche Beteiligung)

In einer finnischen Studie konnte die überwiegende Mehrheit (>90%) der Überlebenden nach Kreislaufstillstand zu Hause leben, und die meisten Überlebenden konnten zu früheren Aufgaben und einer hohen Beteiligung an der Gesellschaft zurückkehren [165]. Personen im erwerbsfähigen Alter kehrten in 60–76% sechs bis zwölf Monate nach Kreislaufstillstand zu mindestens einem gewissen Grad an den Arbeitsplatz zurück [159, 162, 165, 168, 181]. 47–74% der Überlebenden nach Kreislaufstillstand berichten jedoch von einer eingeschränkten gesellschaftlichen Beteiligung [148, 162], und viele bleiben krankgeschrieben [147, 160, 162, 165, 182], obwohl die Höhe des Krankenstands in den europäischen Ländern unterschiedlich ist [162]. Es werden auch Gefühle der geringeren Zufriedenheit mit Familie und Freizeit [148] und Probleme bei der Durchführung üblicher Aktivitäten gemeldet [151, 163, 170]. Eine Studie berichtete, dass die Fahrfähigkeit signifikant geringer war als vor dem Kreislaufstillstand [147], während andere nur in 12–27% eine Fahrunfähigkeit beschrieben [154, 165]. Viele Patienten mit kognitiven Beeinträchtigungen fuhren jedoch noch [147], und ein Viertel berichtete, dass sie sich nicht daran erinnerten, ob sie darüber informiert worden seien, dass ein Fahrverbot für eine Zeit nach dem Kreislaufstillstand gelten würde [165].

In einer europäischen multizentrischen Studie ($n=270$) waren Depressionen, selbst berichtete Mobilitätsprobleme, kognitive Beeinträchtigungen und Müdigkeit Prädiktoren für eine verminderte gesellschaftliche Beteiligung [162]. Eine andere niederländische Studie ($n=110$) berichtete, dass nur eine prämorbid Funktion als Prädiktor für die gesellschaftliche Teilhabe gilt [168]. Eine kognitive Beeinträchtigung erhöht das Risiko, nicht zur Arbeit zurückkehren zu können [147, 152, 162]. Prädiktoren, die positiv mit der Rückkehr zur Arbeit verbunden waren, waren männliches Geschlecht [181], jüngeres Alter [181, 182], ein Job auf höherer Ebene,

ein beobachteter Kreislaufstillstand mit Laienreanimation [181] oder ein Kreislaufstillstand, der am Arbeitsplatz aufgetreten ist [182].

Mehrere Beobachtungs- und Kohortenstudien enthielten detaillierte Messungen der Erholung, aber frühere systematische Überprüfungen in diesem Bereich beschreiben Einschränkungen, die eine Verzerrung des Risikos in den berichteten Ergebnissen beinhalten, einschließlich: kleiner und/oder heterogener Stichproben; viele fehlende Daten; Unterschiede in den verwendeten Bewertungstypen und Zeitpunkten [148, 183–185]. Logistische und ethische Herausforderungen beim Sammeln detaillierter Informationen über die Entlassung aus dem Krankenhaus hinaus bleiben ein kritisches Thema für die langfristige Berichterstattung über die Genesung [142].

Rehabilitation

Die Planung einer Rehabilitation nach einem Kreislaufstillstand erfordert die Schätzung der Anzahl und die Berücksichtigung der sich ändernden Bedürfnisse der Überlebenden [146]. Rehabilitationsmaßnahmen für Überlebende nach Kreislaufstillstand werden häufig in Programmen angeboten, die andere Patientengruppen umfassen, z. B. Myokardinfarkt oder andere Arten erworbener Hirnverletzungen, z. B. traumatische Hirnverletzung (TBI) [186, 187]. Studien, die solche Interventionen beschreiben, umfassen nur wenige Überlebende eines Kreislaufstillstands in gemischten Gruppen, was bedeutet, dass das spezifische Rehabilitationsergebnis für Patienten nach Kreislaufstillstand schwer zu trennen ist. Diese Übersicht über die Rehabilitationsprogramme in Europa enthält daher nur Studien, in denen Interventionen für Überlebende nach Kreislaufstillstand speziell beschrieben werden.

Überlebende mit „schlechtem“ neurologischem Ergebnis leiden unter tiefgreifenden und lebensverändernden Problemen. In einer italienischen Studie wurde die Rehabilitation von einem interdisziplinären Team für 180 min pro Tag durchgeführt [187]. Nach durchschnittlich 78 Tagen (SD 55) konn-

ten 45% der Patienten mit anoxischer Hirnschädigung nach Hause zurückkehren. Während anoxische Patienten eine schlechtere Genesung hatten als andere Gruppen, hatten sie auch eine schlechtere kognitive Funktion zu Studienbeginn. Ein ähnlicher individualisierter, multidisziplinärer Ansatz wurde in einem türkischen Rehabilitationskrankenhaus angeboten [186]. Diese Studie ergab, dass bei Patienten mit anoxischem Hirnschaden, die eine ähnliche Basisfunktion hatten wie TBI-Patienten, die Verbesserungsrate immer noch langsamer, der Unterschied im Rehabilitationsergebnis jedoch statistisch nicht signifikant war. Französische Forscher beschrieben eine therapeutische Intervention für institutionalisierte Patienten ($n=27$) mit anoxischer Hirnschädigung (durchschnittlich 8 Jahre seit dem Ereignis) [188]. Die Intervention bestand aus Medikamenten, Psychotherapie, Selbsthilfegruppe und therapeutischen Aktivitäten, die über sechs Monate durchgeführt wurden und zu einer Verbesserung der Lebensqualität und der sozialen Teilhabe führten.

Das rehabilitative Ergebnis für Überlebende nach Kreislaufstillstand mit anhaltenden Bewusstseinsstörungen ist schlecht, obwohl sich einige verbessern können, wenn auch selten. Eine niederländische Studie schätzte, dass über 50% der Patienten mit vegetativem Wachheitssyndrom (die meisten aufgrund von Hypoxie während eines Kreislaufstillstands) keine Rehabilitationsleistungen erhielten [189]. In Deutschland wurden 113 Überlebende nach Kreislaufstillstand und mit Bewusstseinsstörungen stationär in einer Rehabilitationseinrichtung erfolgreich behandelt [190]. Die meisten Verbesserungen wurden innerhalb der ersten acht Wochen beobachtet. Eine Minderheit (6,2%) der Patienten erzielte ein gutes funktionelles Ergebnis, während 80,5% in einem anhaltenden, nicht reagierenden Zustand blieben. In einer anderen deutschen Studie wurde 93 Überlebenden mit hypoxisch-ischämischer Enzephalopathie (meist verursacht durch den Kreislaufstillstand) eine frühe neurologische Rehabilitation von 300 min täglicher Therapie (z. B. Physiotherapie, Ergotherapie, Sprach-/Schlucktherapie und

spezialisierte Pflege) angeboten [191]. Nach durchschnittlich 46,4 (SD 68,2) Tagen wurden 24,7% mit einem guten Ergebnis entlassen, aber wie in der vorherigen Studie blieben 82,1% der bei der Aufnahme im Koma liegenden Personen komatös. Schließlich berichtete eine italienische Studie, dass selbst Patienten mit verbessertem Bewusstsein nach zwei Jahren stark neurologisch beeinträchtigt blieben [192].

Bei Patienten mit „gutem“ neurologischem Ergebnis wird die Notwendigkeit einer Rehabilitation möglicherweise während des akuten Krankenhausaufenthalts nicht erkannt [28]. Eine schwedische Umfrage ergab, dass in 59 von 74 Krankenhäusern die häufigste Nachuntersuchung ein Patientenbesuch in einer Kardiologie war ($n=42$, 70%), wo neurologische und psychologische Unterstützung oft nicht in einem strukturierten Format bereitgestellt wurde. Es gab auch große Unterschiede in der Nachsorge [193]. In den Europäischen Leitlinien zur Wiederbelebung von 2015 zur Postreanimationstherapie, wird eine strukturierte Nachsorge zum Screening auf potenzielle kognitive und emotionale Probleme empfohlen, um diejenigen Personen zu identifizieren, die weitere Unterstützung und Rehabilitation benötigen [28]. Nationale Leitlinien wurden z. B. in Schweden entwickelt [194].

Die Auswirkungen von Follow-up und Screening wurden von Moulaert und Kollegen in einer randomisierten, kontrollierten Studie beschrieben ($n=185$) [195–199]. Die Intervention wurde von einer ausgebildeten Krankenschwester in einer Ambulanz oder bei dem Patienten zu Hause durchgeführt und umfasste das Screening auf kognitive und emotionale Probleme, die Bereitstellung von Informationen und Unterstützung sowie die Förderung der Selbstmanagementstrategien und – falls notwendig – eine Überweisung an weitere spezialisierte Pflege. Die erste einstündige Sitzung wurde kurz nach der Entlassung angeboten, wobei nachfolgend kürzere Follow-up-Sitzungen angeboten wurden. Patienten, die diese Intervention erhielten, hatten ein Jahr nach dem Kreislaufstillstand eine bessere mentale HRQoL und eine frühere

Rückkehr zur Arbeit im Vergleich zur Kontrollgruppe. Die Intervention erwies sich auch als kostengünstig [195].

Das Essex Cardiothoracic Center im Vereinigten Königreich beschreibt eine ähnliche Folgeintervention, einschließlich systematischer psychologischer, kognitiver und spezialisierter medizinischer Unterstützung für Überlebende und ihre Betreuer in den ersten sechs Monaten nach dem Kreislaufstillstand [167]. Vor der Entlassung aus dem Krankenhaus wurden die Patienten ($n=21$) von einer Krankenpflegekraft und einem Kardiologen auf der Intensivstation untersucht und mit schriftlichen und Videoinformationen sowie Links zu sozialen Medien versehen. Nach acht Wochen wurde ein multidisziplinärer Termin und nach sechs und zwölf Monaten ein Folgetermin vereinbart. Von den eingeschlossenen Patienten benötigten 26% weitere psychologische Unterstützung. Der allgemeine Gesundheitszustand verbesserte sich während der Nachuntersuchung, es wurde jedoch keine Kontrollgruppe eingeschlossen, um die Wirkung der Intervention zu bewerten.

Ein Zentrum in den Niederlanden bietet einen integrierten Rehabilitationsweg zur Wiederherstellung der Trainingskapazität und zur optimalen kognitiven Funktion an [200]. Alle Patienten nach Kreislaufstillstand, die für eine Rehabilitation infrage kamen, wurden ungefähr einen Monat nach dem Ereignis auf kognitive und emotionale Probleme untersucht. Patienten ohne kognitive Beeinträchtigung nahmen an regulären Herzrehabilitationsprogrammen teil, während Patienten mit kognitiven Beeinträchtigungen die Herzrehabilitation in kleineren Gruppen absolvierten. Nach der Herzrehabilitation wurde ein fortlaufendes Programm mit kognitiver Rehabilitation angeboten. Das Programm wurde nicht evaluiert, aber von 77 Überlebenden nach Kreislaufstillstand, die zur kardialen Rehabilitation überwiesen wurden, hatten 23% kognitive Probleme [201].

Derzeit gibt es keine umfassende Bewertung der Art oder Anzahl der Rehabilitationsmaßnahmen und -programme für Überlebende nach Kreislaufstillstand

in ganz Europa, und es gibt nur begrenzte Hinweise auf die Auswirkungen. Dies mag daran liegen, dass es nur wenige Programme gibt, aber es kann auch die Notwendigkeit einer umfassenderen Berichterstattung über Interventionen widerspiegeln. Schließlich gruppieren einige Studien Überlebende nach Kreislaufstillstand mit anderen Patienten mit Herz- oder Hirnschädigungen zur Rehabilitation, was bedeutet, dass die Arten und die Häufigkeit der Rehabilitation, die Überlebenden nach Kreislaufstillstand zur Verfügung stehen, unterschätzt werden können, sofern nicht ausdrücklich die Einbeziehung von Patienten nach Kreislaufstillstand angegeben wird. Es ist auch anzumerken, dass keine pädiatrischen Rehabilitationsstudien identifiziert wurden.

Genomische Variationen und plötzlicher Kreislaufstillstand

Eine der wichtigsten Möglichkeiten, die Mortalität durch plötzlichen Kreislaufstillstand weiter zu senken, liegt in der individuellen Prävention (www.escape-net.eu) [202]. Dies erfordert öffentliche Aufklärung und frühzeitiges Erkennen einzelner Patienten und Familien mit erhöhtem Risiko für einen plötzlichen Kreislaufstillstand. Auf individueller Ebene sind genomische Risikofaktoren höchstwahrscheinlich wichtig [203], aber das Verständnis ihrer Relevanz ist begrenzt [204]. In Fällen eines ungeklärten Kreislaufstillstands können genetische Tests jedoch zu einer diagnostischen Ausbeute von mehr als 60% an pathologischen genetischen Variationen führen [205]. Mit Ausnahme ausgewählter Fälle in Familien mit Brugada- und Long-QT-Syndrom (LQTS) sind leider Personen oft nicht über ihre genetische Disposition informiert, da es relativ wenig kardiogenetisches Screening gibt [206–208].

Populationsbasierte systematische Studien deuten auf eine starke genetische Komponente des Kreislaufstillstands im Allgemeinen [203, 209] und des autopsienegativen, ungeklärten Kreislaufstillstands im Besonderen hin [210–214]. Eine individuell einzigartige pathophysiologische Wechselwir-

kung von Umwelt (Rauchen, sozialer Stress, Luftverschmutzung, chronische Lärmbelastung usw.), Patientenfaktoren (Fettleibigkeit, Bluthochdruck, Diabetes, Myokardischämie und Myokardinfarkt, Takotsubo-Syndrom, verwendete Medikamente usw. [215–217]) und genetischen Faktoren (Brugada-Syndrom, LQTS, arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie (ARVC), katecholaminerge polymorphe ventrikuläre Tachykardie, kurzes QT-Syndrom usw. [206–208, 218–228] und ihre Kombinationen [229] bestimmen das individuelle Risiko eines plötzlichen Kreislaufstillstands. Darüber hinaus kann die genetische Anfälligkeit für langfristige Alkoholeffekte, Arzneimittel- und Arzneimittelwechselwirkungen, die einen plötzlichen Kreislaufstillstand induzieren, auf individueller Ebene relevant sein [230–233].

Die Forschung der letzten Jahre hat sich insbesondere auf Patienten und Familien mit seltenen angeborenen Arrhythmiesyndromen und Episoden konzentriert, die mit einem erhöhten Risiko für einen Kreislaufstillstand verbunden sind. Es wurden mehrere Moleküle und Mechanismen identifiziert, die die Herzelektrophysiologie steuern [206–208, 234, 235]. Die meisten bisher entdeckten Gene und ihre Varianten sind an der Regulierung der Elektrophysiologie beteiligt und setzen das Herz einem höheren Risiko für Kammerflimmern aus [203, 236–238]. Spezifische genetische Veranlagungen, die zu einem Kreislaufstillstand führen, betreffen am häufigsten jüngere Patienten (z. B. Brugada-Syndrom; Long-QT-Syndrom). Bei älteren Patienten kann die genetische Veranlagung mit erworbenen und akkumulierten Risikofaktoren, Medikamenten, sozialem Stress und bestimmten Krankheiten interagieren [239, 240]. Unterschiedliche Risikostufen sind auch mit unterschiedlichen genetischen Variationen verbunden. Zum Beispiel kann das Long-QT-Syndrom aus genetischen Variationen in mindestens 12 verschiedenen Genen resultieren, die Mutationen verursachen, die zu unterschiedlichen Graden einer negativen QT-Verlängerung führen, die anschließend mit einem unterschiedlichen Risiko für Herzrhyth-

musstörungen verbunden sind [207, 218]. Zusätzlich zur primären Genvariante können Modifikatorgene auch die Schwere der Erkrankung bestimmen [241]. Es wurden auch geschlechtsspezifische Unterschiede bei den genetischen Risikofaktoren diskutiert. Daten deuten darauf hin, dass Frauen ein höheres Risiko für eine QT-Verlängerung haben [217, 242]. Frauen können auch niedrigere Expressionsniveaus von Genen aufweisen, die die Repolarisation steuern [243]. Im Gegensatz dazu bestehen bei Männern ein höheres Risiko für das Brugada-Syndrom, für Arrhythmiesyndrome, die mit einer verringerten Depolarisation von Myozyten verbunden sind und für medikamenteninduzierte Zustände, die mit einer verringerten Depolarisationsreserve verbunden sind [244]. Andere Daten legen nahe, dass das männliche Geschlecht möglicherweise niedrigere Expressionsniveaus von Genen aufweist, die die Depolarisation steuern [245].

Typischerweise haben sich genetische Studien auf seltene Genvarianten in hoch ausgewählten Populationen konzentriert. Milano et al. waren die Ersten, die zeigten, dass genetische Mutationen mit einem erhöhten Risiko für einen plötzlichen Kreislaufstillstand in der Allgemeinbevölkerung verbunden sind [237]. Große Mengen an DNA-Proben bei Patienten mit Kreislaufstillstand und Informationen zu deren weiteren individuellen Risikofaktoren und Portfolios sind erforderlich, um weitere Einblicke in die Genomrisikostatifizierung für plötzlichen Kreislaufstillstand, die Entwicklung von Arrhythmien und eine darauf angepasste individualisierte Prävention sowie Behandlungsstrategien zu erhalten.

Aktuelle Empfehlungen nach dem Auftreten eines plötzlichen Kreislaufstillstands umfassen das Screening auf genetische Störungen bei Familienmitgliedern ersten Grades. Durch das Screening können Verwandte identifiziert werden, die von einer Änderung des Lebensstils und der Vermeidung bestimmter Medikamente profitieren könnten. Einige Verwandte können von einer medizinischen Therapie profitieren, und die Implantation von Defibrillatoren kann bei einer ausgewählten Gruppe

von Patienten und Familienmitgliedern angebracht sein [211]. Familienscreening wird besonders empfohlen, wenn der Kreislaufstillstand durch körperliche Betätigung verursacht wurde [246]; in einem jüngeren Alter auftrat; bei einem jungen Sportler mit Long-QT-Syndrom auftrat [247] und/oder mit einer positiven Familienanamnese eines plötzlichen Kreislaufstillstands in Verbindung gebracht wurde [204, 205, 210, 224, 248–258].

Es wird erwartet, dass die klinische Rolle genetischer und epigenetischer Faktoren zunehmend verstanden wird, wenn die Forschung in diesem Bereich weiter zunimmt. Derzeit gibt es keine spezifischen Wiederbelebungsempfehlungen für Patienten mit bekannter genomischer Veranlagung. Es gibt einige Fälle, in denen genotypgesteuerte Wiederbelebungsstrategien theoretisch geeignet sein können, z. B. bei Patienten mit Brugada-Syndrom oder ähnlichen Zuständen, die mit einer verringerten Depolarisation verbunden sind, kann die Verwendung von Amiodaron oder Lidocain das Auftreten von Asystolie erhöhen. Es gibt jedoch keine systematischen Studien, die eine solche Behandlung unterstützen.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Jan-Thorsten Gräsner, FERC
Institute for Emergency Medicine (IRUN),
University Hospital Schleswig-Holstein
Kiel, Deutschland
Jan-Thorsten.Graesner@uksh.de

Danksagung. Die Übersetzung dieses Kapitels wurde von Prof. Dr. med. Jan-Thorsten Gräsner und Dr. med. Jan Wnent, MDM geleistet.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. J.-T. Gräsner declared speakers honorarium from Weinmann, Fresenius, Ratiopharm, Zoll; he is Scientific Advisor for Zoll Temperature management. B.W. Böttiger declared speakers honorarium from Baxalta, Bayer Vital, Boehringer Ingelheim, ZOLL, FomF, Bard, Stemple, Novartis Pharma. J.P. Nolan reports funding from Elsevier for his role as Editor in Chief of the journals Resuscitation and Resuscitation Plus. He reports research funding from the National Institute for Health Research in relation to the PARAMEDIC2 trial and the AIRWAYS2 trial. G.D. Perkins reports funding from Elsevier for his role as an Editor of the journal Resuscitation. He reports research fun-

ding the Resuscitation Council UK and British Heart Foundation for the OHCAO Registry. [Stand 7.5.2020, Originalartikel in Resuscitation]. J. Herlitz, I.B.M. Tjelmeland, J. Wnent, S. Masterson, G. Lijla, B. Bein, F. Rosell-Ortiz und L. Bossaert geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

- Grasner JT, Wnent J, Herlitz J et al (2020) Survival after out-of-hospital cardiac arrest in Europe—Results of the EuReCa TWO study. *Resuscitation* 148:218–226
- Andersen LW, Holmberg MJ, Berg KM, Donnino MW, Granfeldt A (2019) In-hospital cardiac arrest: a review. *JAMA* 321:1200–1210
- Kiguchi T, Okubo M, Nishiyama C et al (2020) Out-of-hospital cardiac arrest across the World: First report from the International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR). *Resuscitation* 152:39–49
- Perkins GD, Brace-McDonnell SJ, Group OP. (2015) The UK Out of Hospital Cardiac Arrest Outcome (OHCAO) project. *BMJ Open* 5:e8736
- Cummins RO, Chamberlain DA, Abramson NS et al (1991) Recommended guidelines for uniform reporting of data from out-of-hospital cardiac arrest: the Utstein Style. A statement for health professionals from a task force of the American Heart Association, the European Resuscitation Council, the Heart and Stroke Foundation of Canada, and the Australian Resuscitation Council. *Circulation* 84:960–975
- Perkins GD, Jacobs IG, Nadkarni VM et al (2015) Cardiac Arrest and Cardiopulmonary Resuscitation Outcome Reports: Update of the Utstein Resuscitation Registry Templates for Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Statement for Healthcare Professionals From a Task Force of the International Liaison Committee on Resuscitation (American Heart Association, European Resuscitation Council, Australian and New Zealand Council on Resuscitation, Heart and Stroke Foundation of Canada, Inter-American Heart Foundation, Resuscitation Council of Southern Africa, Resuscitation Council of Asia); and the American Heart Association Emergency Cardiovascular Care Committee and the Council on Cardiopulmonary, Critical Care, Perioperative and Resuscitation. *Resuscitation* 96:328–340
- Merchant RM, Yang L, Becker LB et al (2011) Incidence of treated cardiac arrest in hospitalized patients in the United States. *Crit Care Med* 39:2401–2406
- Benjamin EJ, Virani SS, Callaway CW et al (2018) Heart disease and stroke statistics—2018 update: a report from the American Heart Association. *Circulation* 137:e67–e492
- Nolan JP, Soar J, Smith GB et al (2014) Incidence and outcome of in-hospital cardiac arrest in the United Kingdom National Cardiac Arrest Audit. *Resuscitation* 85:987–992
- Andersen LW, Holmberg MJ, Lofgren B, Kirkegaard H, Granfeldt A (2019) Adult in-hospital cardiac arrest in Denmark. *Resuscitation* 140:31–36
- Ong ME, Shin SD, De Souza NN et al (2015) Outcomes for out-of-hospital cardiac arrests across 7 countries in Asia: the Pan Asian Resuscitation Outcomes Study (PAROS). *Resuscitation* 96:100–108
- Beck B, Bray J, Cameron P et al (2018) Regional variation in the characteristics, incidence and outcomes of out-of-hospital cardiac arrest in Australia and New Zealand: Results from the AusROC Epistery. *Resuscitation* 126:49–57
- Perkins GD, Gräsner J-T, Semeraro F et al (2021) Kurzfassung. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00883-z>
- Grasner JT, Lefering R, Koster RW et al (2016) EuReCa ONE-27 Nations, ONE Europe, ONE Registry: a prospective one month analysis of out-of-hospital cardiac arrest outcomes in 27 countries in Europe. *Resuscitation* 105:188–195
- Danielis M, Chittaro M, De Monte A, Trillo G, Duri D (2019) A five-year retrospective study of out-of-hospital cardiac arrest in a north-east Italian urban area. *Eur J Cardiovasc Nurs* 18:67–74
- Gach D, Nowak JU, Krzych LJ (2016) Epidemiology of out-of-hospital cardiac arrest in the Bielsko-Biala district: a 12-month analysis. *Kardiol Pol* 74:1180–1187
- Hawkes C, Booth S, Ji C et al (2017) Epidemiology and outcomes from out-of-hospital cardiac arrests in England. *Resuscitation* 110:133–140
- Mauri R, Burkart R, Benvenuti C et al (2016) Better management of out-of-hospital cardiac arrest increases survival rate and improves neurological outcome in the Swiss Canton Ticino. *Europace* 18:398–404
- Requena-Morales R, Palazon-Bru A, Rizo-Baeza MM, Adsuar-Quesada JM, Gil-Guillen VF, Cortes-Castell E (2017) Mortality after out-of-hospital cardiac arrest in a Spanish Region. *PLoS ONE* 12:e175818
- Soholm H, Hassager C, Lippert F et al (2015) Factors associated with successful resuscitation after out-of-hospital cardiac arrest and temporal trends in survival and comorbidity. *Ann Emerg Med* 65:523–31e2
- Rosell-Ortiz F, Escalada-Roig X, Fernandez Del Valle P et al (2017) Out-of-hospital cardiac arrest (OHCA) attended by mobile emergency teams with a physician on board. Results of the Spanish OHCA Registry (OSHCAR). *Resuscitation* 113:90–95
- Tjelmeland IBM, Alm-Kruse K, Andersson LJ et al (2020) Cardiac arrest as a reportable condition: a cohort study of the first 6 years of the Norwegian out-of-hospital cardiac arrest registry. *BMJ Open* 10:e38133
- Lee SCL, Mao DR, Ng YY et al (2020) Emergency medical dispatch services across Pan-Asian countries: a web-based survey. *BMC Emerg Med* 20:1
- Sun KM, Song KJ, Shin SD et al (2017) Comparison of emergency medical services and trauma care systems among pan-asian countries: an international, multicenter, population-based survey. *Prehosp Emerg Care* 21:242–251
- Davis DP, Garberson LA, Andrusiek DL et al (2007) A descriptive analysis of Emergency Medical Service Systems participating in the Resuscitation Outcomes Consortium (ROC) network. *Prehosp Emerg Care* 11:369–382
- Govindarajan P, Lin L, Landman A et al (2012) Practice variability among the EMS systems participating in Cardiac Arrest Registry to Enhance Survival (CARES). *Resuscitation* 83:76–80
- Oving I, Masterson S, Tjelmeland IBM et al (2019) First-response treatment after out-of-hospital cardiac arrest: a survey of current practices across 29 countries in Europe. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 27:112
- Nolan JP, Soar J, Cariou A et al (2015) European Resuscitation Council and European Society of Intensive Care Medicine Guidelines for Post-resuscitation Care 2015: Section 5 of the European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015. *Resuscitation* 95:202–222
- Aissaoui N, Bougouin W, Dumas F et al (2018) Age and benefit of early coronary angiography after out-of-hospital cardiac arrest in patients presenting with shockable rhythm: Insights from the Sudden Death Expertise Center registry. *Resuscitation* 128:126–131
- Cronier P, Vignon P, Bouferrache K et al (2011) Impact of routine percutaneous coronary intervention after out-of-hospital cardiac arrest due to ventricular fibrillation. *Crit Care* 15:R122
- Demirel F, Rasoul S, Elvan A et al (2015) Impact of out-of-hospital cardiac arrest due to ventricular fibrillation in patients with ST-elevation myocardial infarction admitted for primary percutaneous coronary intervention: Impact of ventricular fibrillation in STEMI patients. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care* 4:16–23
- Dumas F, Bougouin W, Geri G et al (2016) Emergency percutaneous coronary intervention in post-cardiac arrest patients without ST-segment elevation pattern: insights from the PROCAT II registry. *JACC Cardiovasc Interv* 9:1011–1018
- Geri G, Dumas F, Bougouin W et al (2015) Immediate percutaneous coronary intervention is associated with improved short- and long-term survival after out-of-hospital cardiac arrest. *Circ Cardiovasc Interv* 8. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.114.002303>
- Grasner JT, Meybohm P, Caliebe A et al (2011) Postresuscitation care with mild therapeutic hypothermia and coronary intervention after out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation: a prospective registry analysis. *Crit Care* 15:R61
- Lemkes JS, Janssens GN, van der Hoeven NW et al (2019) Coronary angiography after cardiac arrest without ST-segment elevation. *N Engl J Med* 380:1397–1407
- Tranberg T, Lippert FK, Christensen EF et al (2017) Distance to invasive heart centre, performance of acute coronary angiography, and angioplasty and associated outcome in out-of-hospital cardiac arrest: a nationwide study. *Eur Heart J* 38:1645–1652
- Vadeboncoeur TF, Chikani V, Hu C, Spate DW, Bobrow BJ (2018) Association between coronary angiography with or without percutaneous coronary intervention and outcomes after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 127:21–25
- Wnent J, Seewald S, Heringlake M et al (2012) Choice of hospital after out-of-hospital cardiac arrest—a decision with far-reaching consequences: a study in a large German city. *Crit Care* 16:R164
- Greif R (2020) Education, implementation, and teams 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A188–A239. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.09.014>
- von Vopelius-Feldt J, Brandling J, Bengler J (2017) Systematic review of the effectiveness of prehospital critical care following out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 114:40–46
- Böttiger BW, Bernhard M, Knapp J, Nagele P (2016) Influence of EMS-physician presence on survival after out-of-hospital cardiopulmonary

- resuscitation: systematic review and meta-analysis. *Crit Care* 20:4
42. Zive D, Koprowicz K, Schmidt T et al (2011) Variation in out-of-hospital cardiac arrest resuscitation and transport practices in the Resuscitation Outcomes Consortium: ROCEpistry-Cardiac Arrest. *Resuscitation* 82:277–284
 43. Okubo M, Schmicker RH, Wallace DJ et al (2018) Variation in survival after out-of-hospital cardiac arrest between emergency medical services agencies. *JAMA Cardiol* 3:989–999
 44. Nikolaou N, Castren M, Monsieurs KG et al (2017) Time delays to reach dispatch centres in different regions in Europe. Are we losing the window of opportunity?—The EUROCALL study. *Resuscitation* 111:8–13
 45. Ageron FX, Debatty G, Gayet-Ageron A et al (2016) Impact of an emergency medical dispatch system on survival from out-of-hospital cardiac arrest: a population-based study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 24:53
 46. Considine J, Gazmuri RJ, Perkins GD et al (2020) Chest compression components (rate, depth, chest wall recoil and leaning): a scoping review. *Resuscitation* 146:188–202
 47. Newman MM (1989) Chain of Survival concept takes hold. *J Emerg Med Serv* 14:11–13
 48. Cummins RO, Ornato JP, Thies WH, Pepe PE (1991) Improving survival from sudden cardiac arrest: the “chain of survival” concept. A statement for health professionals from the Advanced Cardiac Life Support Subcommittee and the Emergency Cardiac Care Committee, American Heart Association. *Circulation* 83:1832–1847
 49. Hasselqvist-Ax I, Riva G, Herlitz J et al (2015) Early cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 372:2307–2315
 50. Christensen DM, Rajan S, Kragholm K et al (2019) Bystander cardiopulmonary resuscitation and survival in patients with out-of-hospital cardiac arrest of non-cardiac origin. *Resuscitation* 140:98–105
 51. Bottiger BW, Lockey A, Aickin R et al (2018) “All citizens of the world can save a life”—The World Restart a Heart (WRAH) initiative starts in 2018. *Resuscitation* 128:188–190
 52. Olasveengen TM, Mancini ME, Perkins GD et al (2020) Adult basic life support: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Circulation* 142:S41–S91
 53. Maurer H, Masterson S, Tjelmeland IB et al (2019) When is a bystander not a bystander any more? A European survey. *Resuscitation* 136:78–84
 54. Blom MT, Beesems SG, Homma PC et al (2014) Improved survival after out-of-hospital cardiac arrest and use of automated external defibrillators. *Circulation* 130:1868–1875
 55. Zijlstra JA, Stieglis R, Riedijk F, Smeekes M, van der Worp WE, Koster RW (2014) Local lay rescuers with AEDs, alerted by text messages, contribute to early defibrillation in a Dutch out-of-hospital cardiac arrest dispatch system. *Resuscitation* 85:1444–1449
 56. Claesson A, Herlitz J, Svensson L et al (2017) Defibrillation before EMS arrival in western Sweden. *Am J Emerg Med* 35:1043–1048
 57. Agerskov M, Nielsen AM, Hansen CM et al (2015) Public Access Defibrillation: great benefit and potential but infrequently used. *Resuscitation* 96:53–58
 58. Claesson A, Fredman D, Svensson L et al (2016) Unmanned aerial vehicles (drones) in out-of-hospital-cardiac-arrest. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 24:124
 59. Caputo ML, Muschietti S, Burkart R et al (2017) Lay persons alerted by mobile application system initiate earlier cardio-pulmonary resuscitation: a comparison with SMS-based system notification. *Resuscitation* 114:73–78
 60. Berglund E, Claesson A, Nordberg P et al (2018) A smartphone application for dispatch of lay responders to out-of-hospital cardiac arrests. *Resuscitation* 126:160–165
 61. Sarkisian L, Mickley H, Schakow H et al (2020) Global positioning system alerted volunteer first responders arrive before emergency medical services in more than four out of five emergency calls. *Resuscitation* 152:170–176
 62. Verbrugge M, De Ridder M, Kalaai M, Mortelmans K, Calle P, Braeckman L (2018) Presence and use of automated external defibrillators in occupational setting, Belgium. *Int J Occup Med Environ Health* 31:603–611
 63. Monsieurs KG, Nolan JP, Bossaert LL et al (2015) European resuscitation council guidelines for resuscitation 2015: section 1. Executive summary. *Resuscitation* 95:1–80
 64. Yan S, Gan Y, Jiang N et al (2020) The global survival rate among adult out-of-hospital cardiac arrest patients who received cardiopulmonary resuscitation: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care* 24:61
 65. Luc G, Baert V, Escutnaire J et al (2019) Epidemiology of out-of-hospital cardiac arrest: A French national incidence and mid-term survival rate study. *Anaesth Crit Care Pain Med* 38:131–135
 66. Masterson S, Stromsoe A, Cullinan J, Deasy C, Vellinga A (2018) Apples to apples: can differences in out-of-hospital cardiac arrest incidence and outcomes between Sweden and Ireland be explained by core Utstein variables? *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 26:37
 67. Blom MT, Oving I, Berdowski J, van Valkengoed IGM, Bardai A, Tan HL (2019) Women have lower chances than men to be resuscitated and survive out-of-hospital cardiac arrest. *Eur Heart J* 40:3824–3834
 68. Nehme Z, Andrew E, Bernard S, Smith K (2019) Sex differences in the quality-of-life and functional outcome of cardiac arrest survivors. *Resuscitation* 137:21–28
 69. Andrew E, Nehme Z, Lijovic M, Bernard S, Smith K (2014) Outcomes following out-of-hospital cardiac arrest with an initial cardiac rhythm of asystole or pulseless electrical activity in Victoria, Australia. *Resuscitation* 85:1633–1639
 70. Dumas F, Rea TD (2012) Long-term prognosis following resuscitation from out-of-hospital cardiac arrest: role of aetiology and presenting arrest rhythm. *Resuscitation* 83:1001–1005
 71. Mader TJ, Nathanson BH, Millay S et al (2012) Out-of-hospital cardiac arrest outcomes stratified by rhythm analysis. *Resuscitation* 83:1358–1362
 72. Sasson C, Rogers MA, Dahl J, Kellermann AL (2010) Predictors of survival from out-of-hospital cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 3:63–81
 73. Andrew E, Nehme Z, Bernard S, Smith K (2017) The influence of comorbidity on survival and long-term outcomes after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 110:42–47
 74. Hirlekar G, Jonsson M, Karlsson T, Hollenberg J, Albertsson P, Herlitz J (2018) Comorbidity and survival in out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 133:118–123
 75. Herlitz J, Eek M, Holmberg M, Engdahl J, Holmberg S (2002) Characteristics and outcome among patients having out of hospital cardiac arrest at home compared with elsewhere. *Heart* 88:579–582
 76. Iwami T, Hiraide A, Nakanishi N et al (2006) Outcome and characteristics of out-of-hospital cardiac arrest according to location of arrest: a report from a large-scale, population-based study in Osaka, Japan. *Resuscitation* 69:221–228
 77. Brown TP, Booth S, Hawkes CA et al (2019) Characteristics of neighbourhoods with high incidence of out-of-hospital cardiac arrest and low bystander cardiopulmonary resuscitation rates in England. *Eur Heart J Qual Care Clin Outcomes* 5:51–62
 78. Jonsson M, Harkonen J, Ljungman P et al (2019) Survival after out-of-hospital cardiac arrest is associated with area-level socioeconomic status. *Heart* 105:632–638
 79. Zhao D, Post WS, Blasco-Colmenares E et al (2019) Racial differences in sudden cardiac death. *Circulation* 139:1688–1697
 80. Chocron R, Loeb T, Lamhaut L et al (2019) Ambulance density and outcomes after out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 139:1262–1271
 81. Yeung J, Matsuyama T, Bray J, Reynolds J, Skrifvars MB (2019) Does care at a cardiac arrest centre improve outcome after out-of-hospital cardiac arrest?—a systematic review. *Resuscitation* 137:102–115
 82. Khera R, Carl Lee S, Blevins A, Schweizer M, Girotra S (2018) Early coronary angiography and survival after out-of-hospital cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *Open Heart* 5:e809
 83. Arrich J, Holzer M, Havel C, Mullner M, Herkner H (2016) Hypothermia for neuroprotection in adults after cardiopulmonary resuscitation. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004128.pub4>
 84. Kirkegaard H, Soreide E, de Haas I et al (2017) Targeted temperature management for 48 vs 24 hours and neurologic outcome after out-of-hospital cardiac arrest: a randomized clinical trial. *JAMA* 318:341–350
 85. Lascarrou JB, Merdji H, Le Gouge A et al (2019) Targeted temperature management for cardiac arrest with nonshockable rhythm. *N Engl J Med* 381:2327–2337
 86. Schenone AL, Cohen A, Patarroyo G et al (2016) Therapeutic hypothermia after cardiac arrest: a systematic review/meta-analysis exploring the impact of expanded criteria and targeted temperature. *Resuscitation* 108:102–110
 87. Balian S, Buckler DG, Blewer AL, Bhardwaj A, Abella BS, Group CS. (2019) Variability in survival and post-cardiac arrest care following successful resuscitation from out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 137:78–86
 88. Stub D, Schmicker RH, Anderson ML et al (2015) Association between hospital post-resuscitative performance and clinical outcomes after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 92:45–52
 89. Soholm H, Wachtell K, Nielsen SL et al (2013) Tertiary centres have improved survival compared to other hospitals in the Copenhagen area after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 84:162–167
 90. Stub D, Smith K, Bray JE, Bernard S, Duffy SJ, Kaye DM (2011) Hospital characteristics are associated with patient outcomes following out-of-hospital cardiac arrest. *Heart* 97:1489–1494
 91. Worthington H, Pickett W, Morrison LJ et al (2017) The impact of hospital experience with out-of-hospital cardiac arrest patients on post cardiac arrest care. *Resuscitation* 110:169–175

92. Iwami T, Nichol G, Hiraike A et al (2009) Continuous improvements in "chain of survival" increased survival after out-of-hospital cardiac arrests: a large-scale population-based study. *Circulation* 119:728–734
93. Koyama S, Gibo K, Yamaguchi Y, Okubo M (2019) Variation in survival after out-of-hospital cardiac arrest between receiving hospitals in Japan: an observational study. *BMJ Open* 9:e33919
94. Stromsoe A, Svensson L, Axelsson AB et al (2015) Improved outcome in Sweden after out-of-hospital cardiac arrest and possible association with improvements in every link in the chain of survival. *Eur Heart J* 36:863–871
95. Wissenberg M, Lippert FK, Folke F et al (2013) Association of national initiatives to improve cardiac arrest management with rates of bystander intervention and patient survival after out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA* 310:1377–1384
96. Moller SG, Wissenberg M, Moller-Hansen S et al (2020) Regional variation in out-of-hospital cardiac arrest: Incidence and survival—A nationwide study of regions in Denmark. *Resuscitation* 148:191–199
97. Pasupula DK, Bhat AG, Meera SJ, Siddappa Malleshappa SK (2019) Influence of comorbidity on survival after out-of-hospital cardiac arrest in the United States. *Resuscitation* 145:21–25
98. Perkins GD, Ji C, Deakin CD et al (2018) A randomized trial of epinephrine in out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 379:711–721
99. Riva G, Ringh M, Jonsson M et al (2019) Survival in out-of-hospital cardiac arrest after standard cardiopulmonary resuscitation or chest compressions only before arrival of emergency medical services: nationwide study during three guideline periods. *Circulation*. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.118.038179>
100. Nordberg P, Taccone FS, Truhlar A et al (2019) Effect of trans-nasal evaporative intra-arrest cooling on functional neurologic outcome in out-of-hospital cardiac arrest: the PRINCESS randomized clinical trial. *JAMA* 321:1677–1685
101. Brooks SC, Schmicker RH, Cheskes S et al (2017) Variability in the initiation of resuscitation attempts by emergency medical services personnel during out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 117:102–108
102. Grasner JT, Wnent J, Seewald S et al (2011) Cardiopulmonary resuscitation traumatic cardiac arrest—there are survivors. An analysis of two national emergency registries. *Crit Care* 15:R276
103. Leis CC, Hernandez CC, Blanco MJ, Paterna PC, Hernandez Rde E, Torres EC (2013) Traumatic cardiac arrest: should advanced life support be initiated? *J Trauma Acute Care Surg* 74:634–638
104. Rosemurgy AS, Norris PA, Olson SM, Hurst JM, Albrink MH (1993) Prehospital traumatic cardiac arrest: the cost of futility. *J Trauma* 35:468–473
105. Truhlar A, Deakin CD, Soar J et al (2015) European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 4. Cardiac arrest in special circumstances. *Resuscitation* 95:148–201
106. Nitta M, Iwami T, Kitamura T et al (2011) Age-specific differences in outcomes after out-of-hospital cardiac arrests. *Pediatrics* 128:e812–e820
107. Goto Y, Funada A, Goto Y (2016) Duration of prehospital cardiopulmonary resuscitation and favorable neurological outcomes for pediatric out-of-hospital cardiac arrests: a nationwide, population-based cohort study. *Circulation* 134:2046–2059
108. Fukuda T, Ohashi-Fukuda N, Kobayashi H et al (2016) Conventional versus compression-only versus no-bystander cardiopulmonary resuscitation for pediatric out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 134:2060–2070
109. Bardai A, Berdowski J, van der Werf C et al (2011) Incidence, causes, and outcomes of out-of-hospital cardiac arrest in children. A comprehensive, prospective, population-based study in the Netherlands. *J Am Coll Cardiol* 57:1822–1828
110. Rosell-Ortiz F, Mellado-Vergel FJ, Lopez-Messa JB et al (2016) Survival and neurological status after out-of-hospital cardiac arrest in the pediatric population in Andalusia. *Med Intensiva* 40:163–168
111. Herlitz J, Svensson L, Engdahl J et al (2007) Characteristics of cardiac arrest and resuscitation by age group: an analysis from the Swedish Cardiac Arrest Registry. *Am J Emerg Med* 25:1025–1031
112. Gelberg J, Stromsoe A, Hollenberg J et al (2015) Improving survival and neurologic function for younger age groups after out-of-hospital cardiac arrest in Sweden: a 20-year comparison. *Pediatr Crit Care Med* 16:750–757
113. Nolan JP, Berg RA, Andersen LW et al (2019) Cardiac arrest and cardiopulmonary resuscitation outcome reports: update of the Utstein resuscitation registry template for in-hospital cardiac arrest: a consensus report from a task force of the international liaison committee on resuscitation (American heart association, European resuscitation council, Australian and new zealand council on resuscitation, heart and stroke foundation of Canada, interAmerican heart foundation, resuscitation council of southern africa, resuscitation council of asia). *Resuscitation* 144:166–177
114. Aune S, Herlitz J, Bang A (2005) Characteristics of patients who die in hospital with no attempt at resuscitation. *Resuscitation* 65:291–299
115. van Delden JJ, Lofmark R, Deliens L et al (2006) Do-not-resuscitate decisions in six European countries. *Crit Care Med* 34:1686–1690
116. Adamski J, Nowakowski P, Gorynski P, Onichimowski D, Weigl W (2016) Incidence of in-hospital cardiac arrest in Poland. *Anaesthesiol Intensive Ther* 48:288–293
117. Hessulff F, Karlsson T, Lundgren P et al (2018) Factors of importance to 30-day survival after in-hospital cardiac arrest in Sweden—a population-based register study of more than 18,000 cases. *Int J Cardiol* 255:237–242
118. Radeschi G, Mina A, Berta G et al (2017) Incidence and outcome of in-hospital cardiac arrest in Italy: a multicentre observational study in the Piedmont Region. *Resuscitation* 119:48–55
119. Bergum D, Nordseth T, Mjølstad OC, Skogvoll E, Haugen BO (2015) Causes of in-hospital cardiac arrest—incidences and rate of recognition. *Resuscitation* 87:63–68
120. Mosca L, Barrett-Connor E, Wenger NK (2011) Sex/gender differences in cardiovascular disease prevention: what a difference a decade makes. *Circulation* 124:2145–2154
121. Schwendimann R, Blatter C, Dhaini S, Simon M, Ausserhofer D (2018) The occurrence, types, consequences and preventability of in-hospital adverse events—a scoping review. *BMC Health Serv Res* 18:521
122. Pearse RM, Moreno RP, Bauer P et al (2012) Mortality after surgery in Europe: a 7 day cohort study. *Lancet* 380:1059–1065
123. Alam N, Hobbelenk EL, van Tienhoven AJ, van de Ven PM, Jansma EP, Nanayakkara PW (2014) The impact of the use of the Early Warning Score (EWS) on patient outcomes: a systematic review. *Resuscitation* 85:587–594
124. Whitaker DK, Nolan JP, Castren M, Abela C, Goldik Z (2017) Implementing a standard internal telephone number 2222 for cardiac arrest calls in all hospitals in Europe. *Resuscitation* 115:A14–A15
125. Maharaj R, Raffaele I, Wendon J (2015) Rapid response systems: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care* 19:254
126. Psirides AJ, Hill J, Jones D (2016) Rapid Response Team activation in New Zealand hospitals—a multicentre prospective observational study. *Anaesth Intensive Care* 44:391–397
127. Bircher NG, Chan PS, Xu Y, American Heart Association (2019) Delays in cardiopulmonary resuscitation, defibrillation, and epinephrine administration all decrease survival in in-hospital cardiac arrest. *Anesthesiology* 130:414–422
128. Tirkkonen J, Tamminen T, Skrifvars MB (2017) Outcome of adult patients attended by rapid response teams: a systematic review of the literature. *Resuscitation* 112:43–52
129. Al-Dury N, Rawshani A, Israelsong J et al (2017) Characteristics and outcome among 14,933 adult cases of in-hospital cardiac arrest: a nationwide study with the emphasis on gender and age. *Am J Emerg Med* 35:1839–1844
130. Hirlekar G, Karlsson T, Aune S et al (2017) Survival and neurological outcome in the elderly after in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 118:101–106
131. Adielsson A, Karlsson T, Aune S et al (2016) A 20-year perspective of in hospital cardiac arrest: experiences from a university hospital with focus on wards with and without monitoring facilities. *Int J Cardiol* 216:194–199
132. Thoren A, Rawshani A, Herlitz J et al (2020) ECG-monitoring of in-hospital cardiac arrest and factors associated with survival. *Resuscitation* 150:130–138
133. Herlitz J, Aune S, Bang A et al (2005) Very high survival among patients defibrillated at an early stage after in-hospital ventricular fibrillation on wards with and without monitoring facilities. *Resuscitation* 66:159–166
134. Geddes LA, Roeder RA, Kemeny A, Otlewski M (2005) The duration of ventricular fibrillation required to produce pulseless electrical activity. *Am J Emerg Med* 23:138–141
135. Memar M, Geara SJ, Hjalmarsson P, Allberg A, Bouzereau M, Djarv T (2018) Long-term mortality and morbidity among 30-day survivors after in-hospital cardiac arrests—a Swedish cohort study. *Resuscitation* 124:76–79
136. Widestedt H, Giesecke J, Karlsson P, Jakobsson JG (2018) In-hospital cardiac arrest resuscitation performed by the hospital emergency team: a 6-year retrospective register analysis at Danderyd University Hospital, Sweden. *F1000Res* 7:1013
137. O'Sullivan E, Deasy C (2016) In-hospital cardiac arrest at cork university hospital. *Ir Med J* 109:335–338
138. Piscator E, Hedberg P, Goransson K, Djarv T (2016) Survival after in-hospital cardiac arrest is highly associated with the age-combined Charlson Comorbidity Index in a cohort study from a two-site Swedish University hospital. *Resuscitation* 99:79–83
139. Jennett B, Bond M (1975) Assessment of outcome after severe brain damage. *Lancet* 1:480–484
140. van Swieten JC, Koudstaal PJ, Visser MC, Schouten HJ, van Gijn J (1988) Interobserver agreement for the assessment of handicap in stroke patients. *Stroke* 19:604–607
141. Whitehead L, Perkins GD, Clarey A, Haywood KL (2015) A systematic review of the outcomes

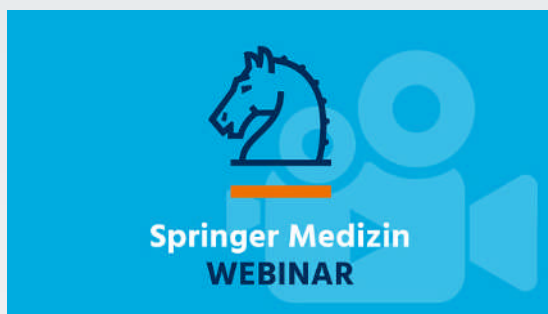
- reported in cardiac arrest clinical trials: the need for a core outcome set. *Resuscitation* 88:150–157
142. Haywood K, Whitehead L, Nadkarni VM et al (2018) COSCA (core outcome set for cardiac arrest) in adults: an advisory statement from the international liaison committee on resuscitation. *Resuscitation* 127:147–163
 143. Haywood K, Whitehead L, Nadkarni VM et al (2018) COSCA (core outcome set for cardiac arrest) in adults: an advisory statement from the international liaison committee on resuscitation. *Circulation* 137:e783–e801
 144. Djarv T, Bremer A, Herlitz J et al (2020) Health-related quality of life after surviving an out-of-hospital compared to an in-hospital cardiac arrest: A Swedish population-based registry study. *Resuscitation* 151:77–84
 145. Scarpino M, Lolli F, Lanzo G et al (2019) Neurophysiology and neuroimaging accurately predict poor neurological outcome within 24 h after cardiac arrest: the ProNeCA prospective multicentre prognostication study. *Resuscitation* 143:115–123
 146. Polanowska KE, Sarzynska-Dlugosz IM, Paprot AE et al (2014) Neuropsychological and neurological sequelae of out-of-hospital cardiac arrest and the estimated need for neurorehabilitation: a prospective pilot study. *Kardiol Pol* 72:814–822
 147. Caro-Codon J, Rey JR, Lopez-de-Sa E et al (2018) Long-term neurological outcomes in out-of-hospital cardiac arrest patients treated with targeted-temperature management. *Resuscitation* 133:33–39
 148. Green CR, Botha JA, Tiruvoipati R (2015) Cognitive function, quality of life and mental health in survivors of out-of-hospital cardiac arrest: a review. *Anaesth Intensive Care* 43:568–576
 149. Lilja G, Nielsen N, Friberg H et al (2015) Cognitive function in survivors of out-of-hospital cardiac arrest after target temperature management at 33 degrees C versus 36 degrees C. *Circulation* 131:1340–1349
 150. Orbo M, Aslaksen PM, Larsby K et al (2014) Determinants of cognitive outcome in survivors of out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 85:1462–1468
 151. Tjainen M, Poutiainen E, Oksanen T et al (2015) Functional outcome, cognition and quality of life after out-of-hospital cardiac arrest and therapeutic hypothermia: data from a randomized controlled trial. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 23:12
 152. Orbo M, Aslaksen PM, Larsby K, Schafer C, Tande PM, Anke A (2016) Alterations in cognitive outcome between 3 and 12 months in survivors of out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 105:92–99
 153. Steinbusch CVM, van Heugten CM, Rasquin SMC, Verbunt JA, Moolaert VRM (2017) Cognitive impairments and subjective cognitive complaints after survival of cardiac arrest: A prospective longitudinal cohort study. *Resuscitation* 120:132–137
 154. Juan E, De Lucia M, Beaud V et al (2018) How do you feel? Subjective perception of recovery as a reliable surrogate of cognitive and functional outcome in cardiac arrest survivors. *Crit Care Med* 46:e286–e293
 155. van Zelle L, Buysse C, Madderom M et al (2015) Long-term neuropsychological outcomes in children and adolescents after cardiac arrest. *Intensive Care Med* 41:1057–1066
 156. van Zelle L, Utens EM, Madderom M et al (2016) Cardiac arrest in infants, children, and adolescents: long-term emotional and behavioral functioning. *Eur J Pediatr* 175:977–986
 157. van Zelle L, Utens EM, Legerstee JS et al (2015) Cardiac arrest in children: long-term health status and health-related quality of life. *Pediatr Crit Care Med* 16:693–702
 158. Haywood KL, Pearson N, Morrison LJ, Castren M, Lilja G, Perkins GD (2018) Assessing health-related quality of life (HRQoL) in survivors of out-of-hospital cardiac arrest: A systematic review of patient-reported outcome measures. *Resuscitation* 123:22–37
 159. Geri G, Dumas F, Bonnetain F et al (2017) Predictors of long-term functional outcome and health-related quality of life after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 113:77–82
 160. Moolaert VRM, van Heugten CM, Gorgels TPM, Wade DT, Verbunt JA (2017) Long-term outcome after survival of a cardiac arrest: a prospective longitudinal cohort study. *Neurorehabil Neural Repair* 31:530–539
 161. Ketildottir A, Albertsdottir HR, Akadottir SH, Gunnarsdottir TJ, Jonsdottir H (2014) The experience of sudden cardiac arrest: becoming reawakened to life. *Eur J Cardiovasc Nurs* 13:429–435
 162. Lilja G, Nielsen N, Bro-Jeppesen J et al (2018) Return to work and participation in society after out-of-hospital cardiac arrest. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 11:e3566
 163. Bohm M, Lilja G, Finnbogadottir H et al (2019) Detailed analysis of health-related quality of life after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 135:197–204
 164. Cronberg T, Lilja G, Horn J et al (2015) Neurologic function and health-related quality of life in patients following targeted temperature management at 33 degrees C vs 36 degrees C after out-of-hospital cardiac arrest: a randomized clinical trial. *JAMA Neurol* 72:634–641
 165. Tjainen M, Vaahersalo J, Skrifvars MB, Hastbacka J, Gronlund J, Pettila V (2018) Surviving out-of-hospital cardiac arrest: the neurological and functional outcome and health-related quality of life one year later. *Resuscitation* 129:19–23
 166. Baldi E, Vanini B, Savastano S, Danza AI, Martinelli V, Politi P (2018) Depression after a cardiac arrest: an unpredictable issue to always investigate for. *Resuscitation* 127:e10–e11
 167. Mion M, Al-Janabi F, Islam S et al (2020) Care after REsuscitation: implementation of the united kingdom's first dedicated multidisciplinary follow-up program for survivors of out-of-hospital cardiac arrest. *Ther Hypothermia Temp Manag* 10:53–59
 168. Verberne D, Moolaert V, Verbunt J, van Heugten C (2018) Factors predicting quality of life and societal participation after survival of a cardiac arrest: a prognostic longitudinal cohort study. *Resuscitation* 123:51–57
 169. Viktorisson A, Sunnerhagen KS, Johansson D, Herlitz J, Axelsson A (2019) One-year longitudinal study of psychological distress and self-assessed health in survivors of out-of-hospital cardiac arrest. *BMJ Open* 9:e29756
 170. Israelsson J, Bremer A, Herlitz J et al (2017) Health status and psychological distress among in-hospital cardiac arrest survivors in relation to gender. *Resuscitation* 114:27–33
 171. Lilja G, Nilsson G, Nielsen N et al (2015) Anxiety and depression among out-of-hospital cardiac arrest survivors. *Resuscitation* 97:68–75
 172. Wilson M, Staniforth A, Till R, das Nair R, Vesey P (2014) The psychosocial outcomes of anoxic brain injury following cardiac arrest. *Resuscitation* 85:795–800
 173. Davies SE, Rhys M, Voss S, Greenwood R, Thomas M, Bengler JR (2017) Psychological wellbeing in survivors of cardiac arrest, and its relationship to neurocognitive function. *Resuscitation* 111:22–25
 174. Wachelder EM, Moolaert VR, van Heugten C, Gorgels T, Wade DT, Verbunt JA (2016) Dealing with a life changing event: the influence of spirituality and coping style on quality of life after survival of a cardiac arrest or myocardial infarction. *Resuscitation* 109:81–86
 175. Frisch S, Thiel F, Schroeter ML, Jentsch RT (2017) Apathy and cognitive deficits in patients with transient global ischemia after cardiac arrest. *Cogn Behav Neurol* 30:172–175
 176. Beesems SG, Wittebrood KM, de Haan RJ, Koster RW (2014) Cognitive function and quality of life after successful resuscitation from cardiac arrest. *Resuscitation* 85:1269–1274
 177. Van't Wout Hofland J, Moolaert V, van Heugten C, Verbunt J (2018) Long-term quality of life of caregivers of cardiac arrest survivors and the impact of witnessing a cardiac event of a close relative. *Resuscitation* 128:198–203
 178. Zimmerli M, Tisjar K, Balestra GM, Langewitz W, Marsch S, Hunziker S (2014) Prevalence and risk factors for post-traumatic stress disorder in relatives of out-of-hospital cardiac arrest patients. *Resuscitation* 85:801–808
 179. van Wijnen HG, Rasquin SM, van Heugten CM, Verbunt JA, Moolaert VR (2017) The impact of cardiac arrest on the long-term wellbeing and caregiver burden of family caregivers: a prospective cohort study. *Clin Rehabil* 31:1267–1275
 180. Orbo M, Aslaksen PM, Larsby K et al (2015) Relevance of cognition to health-related quality of life in good-outcome survivors of out-of-hospital cardiac arrest. *J Rehabil Med* 47:860–866
 181. Kragholm K, Wissenberg M, Mortensen RN et al (2015) Return to work in out-of-hospital cardiac arrest survivors: a nationwide register-based follow-up study. *Circulation* 131:1682–1690
 182. Descatha A, Dumas F, Bougouin W, Cariou A, Geri G (2018) Work factors associated with return to work in out-of-hospital cardiac arrest survivors. *Resuscitation* 128:170–174
 183. Elliott VJ, Rodgers DL, Brett SJ (2011) Systematic review of quality of life and other patient-centred outcomes after cardiac arrest survival. *Resuscitation* 82:247–256
 184. Moolaert VRMP, Verbunt JA, van Heugten CM, Wade DT (2009) Cognitive impairments in survivors of out-of-hospital cardiac arrest: a systematic review. *Resuscitation* 80:297–305
 185. Wilder Schaaf KP, Artman LK, Peberdy MA et al (2013) Anxiety, depression, and PTSD following cardiac arrest: a systematic review of the literature. *Resuscitation* 84:873–877
 186. Adiguzel E, Yasar E, Kesikburun S et al (2018) Are rehabilitation outcomes after severe anoxic brain injury different from severe traumatic brain injury? A matched case-control study. *Int J Rehabil Res* 41:47–51
 187. Smania N, Avesani R, Roncarì L et al (2013) Factors predicting functional and cognitive recovery following severe traumatic, anoxic, and cerebrovascular brain damage. *J Head Trauma Rehabil* 28:131–140
 188. Tazopoulou E, Miljkovitch R, Truelle JL et al (2016) Rehabilitation following cerebral anoxia: an assessment of 27 patients. *Brain Inj* 30:95–103
 189. van Erp WS, Lavrijsen JC, Vos PE, Bor H, Laureys S, Koopmans RT (2015) The vegetative state: prevalence, misdiagnosis, and treatment limitations. *JAMA* 308:1685–1694
 190. Howell K, Grill E, Klein AM, Straube A, Bender A (2013) Rehabilitation outcome of anoxic-

- ischaemic encephalopathy survivors with prolonged disorders of consciousness. *Resuscitation* 84:1409–1415
191. Heinz UE, Rollnik JD (2015) Outcome and prognosis of hypoxic brain damage patients undergoing neurological early rehabilitation. *BMC Res Notes* 8:243
 192. Estraneo A, Moretta P, Loreto V et al (2013) Predictors of recovery of responsiveness in prolonged anoxic vegetative state. *Neurology* 80:464–470
 193. Israelsson J, Lilja G, Bremer A, Stevenson-Agren J, Arestedt K (2016) Post cardiac arrest care and follow-up in Sweden—a national web-survey. *BMC Nurs* 15:1
 194. Israelsson J, Lilja G (2019) Post cardiac arrest follow-up—Swedish guidelines available. *Lakartidningen* 116:F11P
 195. Moolaert VR, Goossens M, Heijnders IL, Verbunt JA, Heugten CM (2016) Early neurologically focused follow-up after cardiac arrest is cost-effective: a trial-based economic evaluation. *Resuscitation* 106:30–36
 196. Moolaert VR, van Haastregt JC, Wade DT, van Heugten CM, Verbunt JA (2014) “Stand still . . . , and move on”, an early neurologically-focused follow-up for cardiac arrest survivors and their caregivers: a process evaluation. *BMC Health Serv Res* 14:34
 197. Moolaert VR, van Heugten CM, Winkens B et al (2015) Early neurologically-focused follow-up after cardiac arrest improves quality of life at one year: a randomised controlled trial. *Int J Cardiol* 193:8–16
 198. Moolaert VR, Verbunt JA, Bakx WG et al (2011) “Stand still . . . , and move on”, a new early intervention service for cardiac arrest survivors and their caregivers: rationale and description of the intervention. *Clin Rehabil* 25:867–879
 199. Moolaert VR, Wachelder EM, Verbunt JA, Wade DT, van Heugten CM (2010) Determinants of quality of life in survivors of cardiac arrest. *J Rehabil Med* 42:553–558
 200. Boyce LW, Goossens PH (2017) Rehabilitation after cardiac arrest: integration of neurologic and cardiac rehabilitation. *Semin Neurol* 37:94–102
 201. Boyce-van der Wal LW, Volker WG, Vliet Vlieland TP, van den Heuvel DM, van Exel HJ, Goossens PH (2015) Cognitive problems in patients in a cardiac rehabilitation program after an out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 93:63–68
 202. Tan HL, Dargès N, Böttiger BW, Schwartz PJ (2018) European Sudden Cardiac Arrest network: towards Prevention, Education and New Effective Treatments (ESCAPE-NET): a major European Horizon 2020 project focused on cardiac arrest. *Eur Heart J* 39:86–88
 203. Novotny T, Kadlecova J, Raudenska M et al (2011) Mutation analysis ion channel genes ventricular fibrillation survivors with coronary artery disease. *Pacing Clin Electrophysiol* 34:742–749
 204. Christiansen SL, Hertz CL, Ferrero-Miliani L et al (2016) Genetic investigation of 100 heart genes in sudden unexplained death victims in a forensic setting. *Eur J Hum Genet* 24:1797–1802
 205. Kumar S, Peters S, Thompson T et al (2013) Familial cardiological and targeted genetic evaluation: low yield in sudden unexplained death and high yield in unexplained cardiac arrest syndromes. *Heart Rhythm* 10:1653–1660
 206. Earle N, Yeo HD, Pilbrow A et al (2014) Single nucleotide polymorphisms in arrhythmia genes modify the risk of cardiac events and sudden death in long QT syndrome. *Heart Rhythm* 11:76–82
 207. Horr S, Goldenberg I, Moss AJ et al (2011) Ion channel mechanisms related to sudden cardiac death in phenotype-negative long-QT syndrome genotype-phenotype correlations of the KCNQ1(S349W) mutation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 22:193–200
 208. Hendrix A, Borleffs CJ, Vink A et al (2011) Cardiological screening of first-degree relatives after sudden cardiac death in the young: a population-based approach. *Europace* 13:716–722
 209. Jouven X, Desnos M, Guerot C, Ducimetiere P (1999) Predicting sudden death in the population: the Paris Prospective Study I. *Circulation* 99:1978–1983
 210. Tester DJ, Medeiros-Domingo A, Will ML, Haglund CM, Ackerman MJ (2012) Cardiac channel molecular autopsy: insights from 173 consecutive cases of autopsy-negative sudden unexplained death referred for postmortem genetic testing. *Mayo Clin Proc* 87:524–539
 211. McGorrian C, Constant O, Harper N et al (2013) Family-based cardiac screening in relatives of victims of sudden arrhythmic death syndrome. *Europace* 15:1050–1058
 212. Ashar FN, Mitchell RN, Albert CM et al (2018) A comprehensive evaluation of the genetic architecture of sudden cardiac arrest. *Eur Heart J* 39:3961–3969
 213. Bezzina CR, Lahrouchi N, Priori SG (2015) Genetics of sudden cardiac death. *Circ Res* 116:1919–1936
 214. Nakano Y, Shimizu W (2016) Genetics of long-QT syndrome. *J Hum Genet* 61:51–55
 215. Myerburg RJ, Junttila MJ (2012) Sudden cardiac death caused by coronary heart disease. *Circulation* 125:1043–1052
 216. Jouven X, Lemaître RN, Rea TD, Sotoodehnia N, Empana JP, Siscovick DS (2005) Diabetes, glucose level, and risk of sudden cardiac death. *Eur Heart J* 26:2142–2147
 217. Roden DM (2004) Drug-induced prolongation of the QT interval. *N Engl J Med* 350:1013–1022
 218. Clancy CE, Rudy Y (2001) Cellular consequences of HERG mutations in the long QT syndrome: precursors to sudden cardiac death. *Cardiovasc Res* 50:301–313
 219. Lahtinen AM, Havulinna AS, Noseworthy PA et al (2013) Prevalence of arrhythmia-associated gene mutations and risk of sudden cardiac death in the Finnish population. *Ann Med* 45:328–335
 220. Nemeč J, Hejlik JB, Shen WK, Ackerman MJ (2003) Catecholamine-induced T-wave lability in congenital long QT syndrome: a novel phenomenon associated with syncope and cardiac arrest. *Mayo Clin Proc* 78:40–50
 221. Farrugia A, Keyser C, Hollard C, Raul JS, Muller J, Ludes B (2015) Targeted next generation sequencing application in cardiac channelopathies: analysis of a cohort of autopsy-negative sudden unexplained deaths. *Forensic Sci Int* 254:5–11
 222. Zhang M, Xue A, Shen Y et al (2015) Mutations of desmoglein-2 in sudden death from arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy and sudden unexplained death. *Forensic Sci Int* 255:85–88
 223. Bagnall RD, Das KJ, Duflou J, Semsarian C (2014) Exome analysis-based molecular autopsy in cases of sudden unexplained death in the young. *Heart Rhythm* 11:655–662
 224. Steinberg C, Padfield GJ, Champagne J et al (2016) Cardiac abnormalities in first-degree relatives of unexplained cardiac arrest victims: a report from the cardiac arrest survivors with preserved ejection fraction registry. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 9. <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.115.004274>
 225. Kong T, Feulefack J, Ruether K et al (2017) Ethnic differences in genetic ion channelopathies associated with sudden cardiac death: a systematic review and meta-analysis. *Ann Clin Lab Sci* 47:481–490
 226. Frontera A, Vlachos K, Kitamura T et al (2019) Long-term follow-up of idiopathic ventricular fibrillation in a pediatric population: clinical characteristics, management, and complications. *JAHA* 8:e11172
 227. Jia PL, Wang YB, Fu H et al (2018) Postmortem analysis of 4 mutation hotspots of KCNQ1, KCNH2, and SCN5A genes in sudden unexplained death in southwest of China. *Am J Forensic Med Pathol* 39:218–222
 228. Ackerman MJ, Tester DJ, Jones GS, Will ML, Burrow CR, Curran ME (2003) Ethnic differences in cardiac potassium channel variants: implications for genetic susceptibility to sudden cardiac death and genetic testing for congenital long QT syndrome. *Mayo Clin Proc* 78:1479–1487
 229. Coll M, Ferrer-Costa C, Pich S et al (2018) Role of genetic and electrolyte abnormalities in prolonged QTc interval and sudden cardiac death in end-stage renal disease patients. *PLoS ONE* 13:e200756
 230. Kohli U, Aziz Z, Beaser AD, Nayak HM (2019) A large deletion in RYR2 exon 3 is associated with nadolol and flecainide refractory catecholaminergic polymorphic ventricular tachycardia. *Pacing Clin Electrophysiol* 42:1146–1154
 231. Kaab S, Crawford DC, Sinner MF et al (2012) A large candidate gene survey identifies the KCNE1 D85N polymorphism as a possible modulator of drug-induced torsades de pointes. *Circ Cardiovasc Genet* 5:91–99
 232. Veerman CC, Verkerk AO, Blom MT et al (2013) Slow delayed rectifier potassium current blockade contributes importantly to drug-induced long QT syndrome. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 6:1002–1009
 233. Tados R, Tan HL, Investigators E-N et al (2019) Predicting cardiac electrical response to sodium-channel blockade and Brugada syndrome using polygenic risk scores. *Eur Heart J* 40:3097–3107
 234. Hofman N, Tan HL, Alders M et al (2013) Yield of molecular and clinical testing for arrhythmia syndromes: report of 15 years’ experience. *Circulation* 128:1513–1521
 235. Schwartz PJ, Ackerman MJ, George AL Jr, Wilde AAM (2013) Impact of genetics on the clinical management of channelopathies. *J Am Coll Cardiol* 62:169–180
 236. Marsman RF, Tan HL, Bezzina CR (2014) Genetics of sudden cardiac death caused by ventricular arrhythmias. *Nat Rev Cardiol* 11:96–111
 237. Milano A, Blom MT, Lodder EM et al (2016) Sudden cardiac arrest and rare genetic variants in the community. *Circ Cardiovasc Genet* 9:147–153
 238. Kolder IC, Tanck MW, Bezzina CR (2012) Common genetic variation modulating cardiac ECG parameters and susceptibility to sudden cardiac death. *J Mol Cell Cardiol* 52:620–629
 239. Snipir A, Mikkelsen J, Perola M, Penttilä A, Scheinin M, Karhunen PJ (2003) Variation in the alpha2B-adrenoceptor gene as a risk factor for prehospital fatal myocardial infarction and sudden cardiac death. *J Am Coll Cardiol* 41:190–194
 240. Sotoodehnia N, Siscovick DS, Vatta M et al (2006) Beta2-adrenergic receptor genetic variants and risk of sudden cardiac death. *Circulation* 113:1842–1848
 241. Schwartz PJ, Crotti L, George AL Jr (2018) Modifier genes for sudden cardiac death. *Eur Heart J* 39:3925–3931
 242. Ter Bekke RMA, Isaacs A, Barysenka A et al (2017) Heritability in a SCN5A-mutation founder population with increased female susceptibility to non-

- nocturnal ventricular tachyarrhythmia and sudden cardiac death. *Heart Rhythm* 14:1873–1881
243. Pham TV, Rosen MR (2002) Sex, hormones, and repolarization. *Cardiovasc Res* 53:740–751
244. Antzelevitch C, Brugada P, Borggreffe M et al (2005) Brugada syndrome: report of the second consensus conference: endorsed by the Heart Rhythm Society and the European Heart Rhythm Association. *Circulation* 111:659–670
245. Pham TV, Robinson RB, Danilo P Jr, Rosen MR (2002) Effects of gonadal steroids on gender-related differences in transmural dispersion of L-type calcium current. *Cardiovasc Res* 53:752–762
246. Giudicessi JR, Ackerman MJ (2019) Exercise testing oversights underlie missed and delayed diagnosis of catecholaminergic polymorphic ventricular tachycardia in young sudden cardiac arrest survivors. *Heart Rhythm* 16:1232–1239
247. Longo UG, Risi Ambrogioni L, Ciuffreda M, Maffulli N, Denaro V (2018) Sudden cardiac death in young athletes with long QT syndrome: the role of genetic testing and cardiovascular screening. *Br Med Bull* 127:43–53
248. Wisten A, Bostrom IM, Morner S, Stattin EL (2012) Mutation analysis of cases of sudden unexplained death, 15 years after death: prompt genetic evaluation after resuscitation can save future lives. *Resuscitation* 83:1229–1234
249. Stattin EL, Westin IM, Cederquist K et al (2016) Genetic screening in sudden cardiac death in the young can save future lives. *Int J Legal Med* 130:59–66
250. Hertz CL, Christiansen SL, Ferrero-Miliani L et al (2015) Next-generation sequencing of 34 genes in sudden unexplained death victims in forensics and in patients with channelopathic cardiac diseases. *Int J Legal Med* 129:793–800
251. Nunn LM, Lopes LR, Syrris P et al (2016) Diagnostic yield of molecular autopsy in patients with sudden arrhythmic death syndrome using targeted exome sequencing. *Europace* 18:888–896
252. Neubauer J, Lecca MR, Russo G et al (2018) Exome analysis in 34 sudden unexplained death (SUD) victims mainly identified variants in channelopathy-associated genes. *Int J Legal Med* 132:1057–1065
253. Hertz CL, Christiansen SL, Ferrero-Miliani L et al (2016) Next-generation sequencing of 100 candidate genes in young victims of suspected sudden cardiac death with structural abnormalities of the heart. *Int J Legal Med* 130:91–102
254. Mates J, Mademont-Soler I, Del Olmo B et al (2018) Role of copy number variants in sudden cardiac death and related diseases: genetic analysis and translation into clinical practice. *Eur J Hum Genet* 26:1014–1025
255. Stepien-Wojno M, Poninska J, Rydzanicz M et al (2018) Sudden cardiac arrest in patients without overt heart disease: a limited value of next generation sequencing. *Pol Arch Intern Med* 128:721–730
256. Lahrouchi N, Raju H, Lodder EM et al (2017) Utility of post-mortem genetic testing in cases of sudden arrhythmic death syndrome. *J Am Coll Cardiol* 69:2134–2145
257. Scheiper S, Ramos-Luis E, Blanco-Verea A et al (2018) Sudden unexpected death in the young—Value of massive parallel sequencing in postmortem genetic analyses. *Forensic Sci Int* 293:70–76
258. Anderson JH, Tester DJ, Will ML, Ackerman MJ (2016) Whole-Exome Molecular Autopsy After Exertion-Related Sudden Unexplained Death in the Young. *Circ Cardiovasc Genet* 9:259–265



Webinar zu den ERC-Reanimationsleitlinien 2021 - das ist neu, das ist wichtig!



Die essentiellen Grundlagen der ERC-Reanimationsleitlinien aus dieser Ausgabe als Webinar zusammengefasst und auf den Punkt gebracht!

Melden Sie sich kostenlos an:
Mittwoch, der 14. Juli 17:30-19:00

Das kostenlose Webinar von SpringerMedizin.de: Mit einem speziellen Fokus auf Koronarthrombosen und Herzinfarkt sowie auf die Reanimation bei Kindern und Jugendlichen, mit

- Prof. Dr. B. W. Böttiger, Köln
- PD Dr. Florian Hoffman, München
- Dr. med Carsten Lott, Mainz

Für weitere Informationen und die Anmeldung:



www.springermedizin.de/webinar-erc-leitlinien

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:367–385
<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00889-7>
 Angenommen: 19. April 2021
 Online publiziert: 2. Juni 2021
 © European Resuscitation Council (ERC),
 German Resuscitation Council (GRC), Austrian
 Resuscitation Council (ARC) 2021



Federico Semeraro¹ · Robert Greif^{2,16} · Bernd W. Böttiger³ · Roman Burkart⁴ ·
 Diana Cimpoesu⁵ · Marios Georgiou⁶ · Joyce Yeung⁷ · Freddy Lippert⁸ ·
 Andrew S. Lockey⁹ · Theresa M. Olasveengen¹⁰ · Giuseppe Ristagno^{11,17} ·
 Joachim Schlieber¹² · Sebastian Schnaubelt¹³ · Andrea Scapigliati¹⁴ ·
 Koenraad G. Monsieurs¹⁵

¹ Department of Anaesthesia, Intensive Care and Emergency Medical Services, Maggiore Hospital, Bologna, Italien; ² Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Bern University Hospital, University of Bern, Bern, Schweiz; ³ Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Köln, Köln, Deutschland; ⁴ Interassociation of Rescue Services, Bern, Schweiz; ⁵ Emergency Department, Emergency County Hospital Sf. Spiridon, University of Medicine and Pharmacy Gr. T. Popa Iasi, Iasi, Rumänien; ⁶ American Medical Center Cyprus, Nikosia, Zypern; ⁷ Warwick Clinical Trials Unit, Warwick Medical School, University of Warwick, Coventry, Großbritannien; ⁸ Copenhagen Emergency Medical Services, University of Copenhagen, Kopenhagen, Dänemark; ⁹ Emergency Department, Calderdale Royal Hospital, Halifax, Großbritannien; ¹⁰ Department of Anesthesiology, Oslo University Hospital, Oslo, Norwegen; ¹¹ Department of Pathophysiology and Transplantation, University of Milan, Mailand, Italien; ¹² Department of Anaesthesiology and Intensive Care, AUVA Trauma Centre Salzburg, Salzburg, Österreich; ¹³ Department of Emergency Medicine, Medical University of Vienna, Wien, Österreich; ¹⁴ Institute of Anaesthesia and Intensive Care, Catholic University of the Sacred Heart, Fondazione Policlinico Universitario A. Gemelli, IRCCS, Rom, Italien; ¹⁵ Emergency Department, Antwerp University Hospital and University of Antwerp, Edegem, Belgien; ¹⁶ School of Medicine, Sigmund Freud University Vienna, Wien, Österreich; ¹⁷ Department of Anesthesiology, Intensive Care and Emergency, Fondazione IRCCS Ca' Granda Ospedale Maggiore Policlinico, Mailand, Italien

Lebensrettende Systeme

Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Einführung und Geltungsbereich

Das Kapitel „Lebensrettende Systeme“ beschreibt zahlreiche und wichtige Faktoren, die das Management von Patienten mit Kreislaufstillstand global verbessern können, nicht als einzelne Intervention, sondern als Ansatz auf Systemebene. Ziel dieses Kapitels ist es, evidenzbasierte Best-Practice-Anleitungen zu Interventionen bereitzustellen, die von Gesundheitssystemen implementiert werden können, um die Ergebnisse eines Kreislaufstillstands außerhalb des Krankenhauses und/oder

Die Leitlinien wurden mit dem generischen Maskulin übersetzt. Bitte beachten Sie, dass alle Personenbezeichnungen gleichermaßen für alle Geschlechter gelten.

Die Übersetzung beruht auf der Version vom 29.01.2021. Bis zur Publikation des englischen Originals in *Resuscitation* wurden in manchen Kapiteln Literaturstellen korrigiert oder andere Änderungen vorgenommen, die den Sinn nicht wesentlich ändern.

im Krankenhaus (OHCA und IHCA) zu verbessern. Das Zielpublikum des Kapitels sind Politik, Management von Gesundheits- und Bildungssystemen, Angehörige der Gesundheitsberufe, Lehrer, Schüler, Studenten und Laien. Das Konzept des „Systems Saving Lives“-Ansatzes besteht darin, die Verbindungen und Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Personen zu betonen, die an der Überlebenskette beteiligt sind. Die Allgemeinbevölkerung wird durch Kampagnen für das Thema Kreislaufstillstand sensibilisiert (z. B. „European Restart a Heart Day“ – ERHD und „World Restart a Heart“ – WRAH) und können von Apps als Ersthelfer eingebunden werden. Die Leitstelle, die den Alarmruf erhält, aktiviert das Einsatzmittel des Rettungsdiensts (EMS). Während das EMS-Einsatzmittel unterwegs ist, gibt der Disponent vor der Ankunft der Rettungskräfte Anweisungen zum Beginn der Wiederbelebung (CPR). In diesem Kapitel wird außerdem das Konzept eines Cardiac Arrest Zentrum beschrieben

und die Bedeutung der Leistungsmessung von Wiederbelebungssystemen hervorgehoben. Die Schlüsselrolle von Frühwarnsystemen zur Abwehr eines vermeidbaren Kreislaufstillstands und die Rolle von innerklinischen Notfallteams werden beschrieben.

In der Vergangenheit wurden die Leitlinien des ERC unter dem Gesichtspunkt eines idealen Umfelds mit großen Ressourcen oder hohem Einkommen entwickelt. Der Anwendbarkeit von Aussagen aus solchen Bereichen auf die Realität von Regionen mit niedrigerem Einkommen wurde wenig Aufmerksamkeit geschenkt. In vielen Bereichen der Welt ist ein hoher Versorgungsstandard aufgrund fehlender finanzieller Ressourcen nicht verfügbar. Beispielsweise kann eine minderwertige Leistung des Rettungsdiensts ein Hindernis für die Implementierung von Leitlinien sein. International gültige Empfehlungen sollen als unterstützende Struktur für schwächere Systeme dienen [1].



Abb. 1 ▲ Infografik Zusammenfassung lebensrettende Systeme

Das „Systems Saving Lives“-Konzept betont die Verbindung zwischen Bevölkerung und Rettungsdienst (z. B. KIDS SAVE LIVES) und soll in jedem europäischen Land implementiert werden. Lebensrettende Systeme reicht vom jungen Schüler, der in der Schule HLW lernt, über einen Bürger, der über sein Mobiltelefon einen Kreislaufstillstandsalarm erhält und bereit ist, die HLW zu starten und vor Ort einen automatisierten externen Defibrillator (AED) zu verwenden, bis zum Rettungsdienstteam, das die ALS-Behandlung fortsetzt, um den Patienten für die Nachbehandlung in einem Hochleistungs Krankenhaus zu stabilisie-

ren und dorthin zu transportieren. In Systems Saving Lives ist jeder und alles ein wichtiges Glied für das Überleben. Wir wechseln von der klassischen Überlebenskette mit vier Gliedern zu einer Vielzahl von Gliedern, die im neuen „System Saving Lives“-Konzept enthalten sind. Jeder einzelne Schritt in diesem komplexen System ist wichtig.

Die Leitlinien wurden von den Mitgliedern der „Systems Saving Lives“-Autorengruppe entworfen und vereinbart. Die für die Richtlinienentwicklung verwendete Methodik ist in der Zusammenfassung dargestellt [2]. Die Leitlinien wurden im Oktober 2020 zur öffentli-

chen Kommentierung veröffentlicht. Das Feedback wurde von den Autoren überprüft und die Leitlinien wurden gegebenenfalls aktualisiert. Die Richtlinie wurde der ERC-Generalversammlung am 10. Dezember 2020 vorgelegt und von ihr genehmigt.

Die wichtigsten Botschaften aus diesem Abschnitt sind in **Abb. 1** dargestellt.

Kurz gefasste Leitlinien für die klinische Praxis

Überlebenskette & Überlebensformel

- Die Handlungen, welche die Betroffenen eines plötzlichen Kreislaufstillstands mit dem Überleben verbinden, werden als Überlebenskette bezeichnet.
- Das Ziel, mehr Leben zu retten, erreicht man nicht nur mit solider, qualitativ hochwertiger Wissenschaft, sondern auch mit effektiver Ausbildung von Laien und Angehörigen der Gesundheitsberufe.
- Systeme, die sich mit der Versorgung von Betroffenen eines Kreislaufstillstands befassen, sollen in der Lage sein, ressourceneffiziente Systeme zu implementieren, die das Überleben nach einem Kreislaufstillstand verbessern können.

Messung der Leistung von Wiederbelebungssystemen

- Organisationen oder Gemeinschaften, die Kreislaufstillstände behandeln, sollen ihre Leistung bewerten können, um Schlüsselbereiche ausmachen zu können, mit dem Ziel die Leistung zu verbessern.

Social-Media- und Smartphone-Apps zur Einbindung der Bevölkerung

- Ersthelfer (geschulte und ungeschulte Laien, Feuerwehrleute, Polizisten und sich im Dienstfrei befindliche Angehörige der Gesundheitsberufe), die sich in der Nähe eines vermuteten prähospitalen Kreislaufstillstands befinden, sollen von der Leitstelle

über eine Smartphone-App oder eine Textnachricht alarmiert werden.

- Jedes europäische Land wird nachdrücklich ermutigt, solche Technologien zu implementieren, um
 - den Anteil der durch Ersthelfer begonnenen Wiederbelebung zu verbessern.
 - die Zeit bis zur ersten Herzdruckmassage und Defibrillation zu verkürzen.
 - das Überleben mit einer guten neurologischen Erholung zu verbessern.

„European Restart a Heart Day“ (ERHD) & „World Restart a Heart“ (WRAH)

Nationale Wiederbelebungsräte, nationale Regierungen und lokale Behörden sollen

- sich an WRAH beteiligen.
- das Bewusstsein für die Bedeutung von CPR und AED durch Notfallzeugen schärfen.
- so viele Bürger wie möglich ausbilden.
- die Entwicklung neuer und innovativer Systeme und Richtlinien fördern, die mehr Leben retten.

KIDS SAVE LIVES

- Alle Schulkinder sollen regelmäßig jedes Jahr ein CPR-Training erhalten.
- Unterrichtet „PRÜFEN-RUFEN-DRÜCKEN“.
- Ausgebildete Schulkinder sollen ermutigt werden, Familienmitglieder und Freunde zu unterweisen. Nach einem solchen Training sollen alle Schüler folgende Hausaufgabe erhalten: „Bitte schult innerhalb der nächsten zwei Wochen 10 weitere Personen und gebt eine Rückmeldung.“
- CPR-Schulungen sollen auch in Hochschuleinrichtungen durchgeführt werden, insbesondere für Studenten für das Lehramt und Gesundheitsberufe.
- Die Verantwortlichen in den Bildungsministerien und/oder Kultusministerien und andere führende Politiker jedes Landes sollen ein lan-

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:367–385 <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00889-7>
 © European Resuscitation Council (ERC), German Resuscitation Council (GRC), Austrian Resuscitation Council (ARC) 2021

F. Semeraro · R. Greif · B. W. Böttiger · R. Burkart · D. Cimpoesu · M. Georgiou · J. Yeung · F. Lippert · A. S. Lockey · T. M. Olasveengen · G. Ristagno · J. Schlieber · S. Schnaubelt · A. Scapigliati · K. G. Monsieurs

Lebensrettende Systeme. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Zusammenfassung

Der European Resuscitation Council (ERC) hat diese Leitlinien für lebensrettende Systeme basierend auf dem 2020 „International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations“ erstellt. Behandelt werden folgende Themen: die Überlebenskette, die Messung der Reanimationsleistung, Social-Media- und Smartphone-Apps zur Einbindung der Bevölkerung, der „European Restart a Heart Day“, die „World Restart a Heart“-Kampagne, die „KIDS SAVE LIVES“-Kampagne, der

Umgang mit geringeren Ressourcen, die European Resuscitation Academy und die Global Resuscitation Alliance, Frühwarnsysteme, Frühwarnscores und medizinische Notfallteams, Cardiac Arrest Zentren und die Rolle der Disponenten in Leitstellen.

Schlüsselwörter

Laienreanimation · Ersthelfersysteme · Überlebenskette · Telefonreanimation · Cardiac Arrest Zentren

Systems saving lives. European Resuscitation Council Guidelines 2021

Abstract

The European Resuscitation Council (ERC) has produced these Systems Saving Lives guidelines, which are based on the 2020 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations. The following topics are covered: chain of survival, measuring performance of resuscitation, social media and smartphones apps for engaging the community, European Restart a Heart Day, World Restart a Heart, KIDS SAVE LIVES campaign, lower-resource

setting, European Resuscitation Academy and Global Resuscitation Alliance, early warning scores, rapid response systems, and medical emergency team, cardiac arrest centres and role of dispatchers.

Keywords

Lay resuscitation · First responder systems · Chain of survival · Telephone assisted CPR · Cardiac Arrest Center

desweites Programm für den Wiederbelebungsunterricht für Schulkinder implementieren. Die Ausbildung von Schulkindern in Wiederbelebung soll in ganz Europa und andernorts gesetzlich vorgeschrieben sein.

Bevölkerungsinitiativen zur Förderung der Wiederbelebungsquote

- Die Gesundheitssysteme sollen Initiativen für Wiederbelebungs-schulungen für große Teile der Bevölkerung (Nachbarschaft, Stadt, Region, einen Teil oder ganze Nation) umsetzen.

Ressourcenarmes Umfeld

Wiederbelebungs-forschung in ressourcenarmen Umgebungen

- Es sind Forschungsarbeiten erforderlich, um verschiedene Populationen, Ätiologien und den Reanimationserfolg beim Kreislaufstillstand in ressourcenarmen Umgebungen zu verstehen. Die Forschung soll den Utstein-Regeln folgen.
- Die Höhe des Einkommens der Länder soll in die Berichte aufgenommen werden. Ein nützliches System zur Meldung des Einkommensniveaus ist die Definition der Weltbank (Bruttonationaleinkommen pro Kopf).
- Bei der Berichterstattung über Reanimationssysteme und -ergebnisse

sollen psychologische und soziokulturelle Ansichten zum Kreislaufstillstand dokumentiert werden.

- Experten mit unterschiedlichem Ressourcenhintergrund sollen bezüglich der lokalen Akzeptanz und Anwendbarkeit internationaler Richtlinien und Empfehlungen für die Wiederbelebung konsultiert werden.

Wesentliche Ressourcen für Wiederbelebungssysteme in ressourcenarmen Umgebungen

- In Zusammenarbeit mit Interessengruppen aus diesen ressourcenarmen Gegebenheiten soll eine Liste mit wichtigen Ressourcen für die Wiederbelebung erstellt werden, die speziell an niedrige Ressourcenverfügbarkeit angepasst ist.

European Resuscitation Academy und Global Resuscitation Alliance

- Inhalte wie die Programme der European Resuscitation Academy sollen implementiert werden, um die Laienreanimationsrate zu erhöhen und das Überleben bei prähospitalen Kreislaufstillstand zu verbessern.

Rolle des Disponenten

Abfrageunterstützte Erkennung eines Kreislaufstillstands

- Leitstellen sollen standardisierte Kriterien und Algorithmen einführen, um festzustellen, ob sich ein Patient zum Zeitpunkt des Notrufs in einem Kreislaufstillstand befindet.
- Leitstellen sollen ihre Fähigkeit zur Erkennung eines Kreislaufstillstands überwachen und kontinuierlich nach Möglichkeiten suchen, um die Erkennung eines Kreislaufstillstands zu verbessern.

Telefonreanimation

- Leitstellen sollen über Systeme verfügen, die sicherstellen, dass die Bearbeiter von Notrufen Wiederbelebanweisungen für nicht reagierende und nicht normal atmende Personen geben.

Alleinige Thoraxkompression im Vergleich zur Standardwiederbelebung bei der Telefonreanimation

- Disponenten sollen Anweisungen zur alleinigen Thoraxkompression für Anrufer geben, die nicht reagierende, nicht normal atmende, erwachsene Personen identifizieren.

Frühwarnscores, innerklinische Notfallteams und medizinische Notfallteams

- Erwägen Sie die Einführung von innerklinischen Notfallteams, um die Häufigkeit des Kreislaufstillstands im Krankenhaus und die Mortalität im Krankenhaus zu verringern.

Cardiac Arrest Zentren

- Erwachsene Patienten mit nichttraumatischem prähospitalen Kreislaufstillstand sollen gemäß den lokalen Protokollen für den Transport zu einem Cardiac Arrest Zentrum in Betracht gezogen werden.

Evidenz, die die Leitlinien beeinflusst

Überlebenskette & Überlebensformel

Die Überlebenskette für Betroffene eines Kreislaufstillstands außerhalb des Krankenhauses (OHCA) wurde 1968 von Friedrich Wilhelm Ahnefeld beschrieben, um alle zeitkritischen Interventionen (als Kettenglieder dargestellt) zur Maximierung der Überlebenschancen hervorzuheben [3]. Das Konzept wurde 1988 von Mary M. Newman von der Sudden Cardiac Arrest Foundation in den USA weiterentwickelt [4]. Es wurde 1991 von der American Heart Association modifiziert und angepasst [5].

Entwürfe, die die Überlebenskette darstellen, wurden häufig aktualisiert, aber bis vor Kurzem blieb die in jedem Link übermittelte Nachricht unverändert. Die Überlebenskette des European Resuscitation Council (ERC) in ihrem aktuellen Format wurde erstmals in den

ERC-Leitlinien von 2005 veröffentlicht und fasst die wichtigsten Zusammenhänge zusammen, die für eine erfolgreiche Wiederbelebung erforderlich sind: 1. Früherkennung und Hilferuf – zur Verhinderung eines Kreislaufstillstands und zur Alarmierung des Rettungsdiensts; 2. Wiederbelebung durch Notfallzeugen – um die Verschlechterung von Hirn- und Herzfunktion zu verlangsamen und Zeit zu gewinnen, um eine Defibrillation zu ermöglichen; 3. frühzeitige Defibrillation – zur Wiederherstellung eines Rhythmus mit Perfusion und 4. frühzeitige erweiterte Reanimationsmaßnahmen und standardisierte Nachsorge nach Wiederbelebung, um die Lebensqualität wiederherzustellen. Die Kette betont den Verbund der Kettenglieder und die Notwendigkeit, dass alle Glieder schnell und effektiv sind, um die Überlebenschancen zu optimieren. Die meisten Kettenglieder treffen für Patienten mit primär kardial bedingtem wie auch primär asphyktisch bedingtem Kreislaufstillstand zu [6, 7].

Früherkennung und Hilferuf

Das erste Kettenglied zeigt, wie wichtig es ist, Patienten mit einem Risiko für einen Kreislaufstillstand zu erkennen und um Hilfe zu rufen, um einen Kreislaufstillstand zu verhindern. Die meisten Patienten zeigen Anzeichen einer physiologischen Verschlechterung in den Stunden vor dem Kreislaufstillstand oder haben Warnsymptome geraume Zeit vor dem Kreislaufstillstand [8, 9]. Daher sollen Brustschmerzen als Symptom einer Myokardischämie erkannt werden. Erkennt man, dass der Brustschmerz herbedingt ist und ruft den Rettungsdienst, bevor der Patient kollabiert, wird dieser früher eintreffen, möglichst bevor der Kreislaufstillstand eintritt, und die Überlebenschancen können verbessert werden [10, 11]. Ist es zu einem Kreislaufstillstand gekommen, kann es schwierig sein, diesen zu erkennen. Sowohl Notfallzeugen als auch Leitstellendisponenten müssen sofort einen Kreislaufstillstand erkennen, um die Überlebenskette zu aktivieren. Eine frühzeitige Erkennung ist entscheidend, um eine schnelle Aktivierung des Rettungsdiensts und eine sofortige Einleitung der Wiederbe-

lebung durch Notfallzeugen zu ermöglichen. ILCOR und die ERC-BLS-Leitlinien heben die wichtigsten Beobachtungen zur Diagnose eines Kreislaufstillstands hervor, nämlich dass die Person nicht reagiert und nicht normal atmet [12, 13].

Laienreanimation

Die sofortige Einleitung einer Wiederbelebung kann das Überleben nach einem Kreislaufstillstand verdoppeln oder verdreifachen [14–22]. Der Leitstellendisponent ist ein essenzielles Glied in der Überlebenskette, um Notfallzeugen bei der Einleitung von Wiederbelebungsmaßnahmen zu unterstützen. Leitstellendisponenten werden zunehmend geschult, um einen Kreislaufstillstand zu erkennen, Notfallzeugen bei der Einleitung der Wiederbelebung zu unterweisen und zu unterstützen und die Wiederbelebungsbemühungen zu optimieren, bis professionelle Hilfe eintrifft [23–32].

Frühe Defibrillation

Die Vorteile einer frühzeitigen Defibrillation für das Überleben und das funktionelle Ergebnis durch öffentlich zugängliche Defibrillationsprogramme und eine bessere Zugänglichkeit und Verfügbarkeit von AED in der Öffentlichkeit sind unbestritten [33, 34]. Diese Vorteile wurden auf die kürzere Zeit bis zur Defibrillation durch Notfallzeugen im Vergleich zum Rettungsdienst zurückgeführt, da das Überleben bei schockbarem prähospitalen Kreislaufstillstand mit jeder Minute Verzögerung der Defibrillation signifikant abnimmt. Durch Defibrillation innerhalb von 3 bis 5 min nach dem Kollaps können Überlebensraten von 50 bis 70 % erreicht werden. Dies kann nur durch öffentlich zugängliche AED vor Ort erreicht werden [35–38]. Jede Minute Verzögerung der Defibrillation verringert die Überlebenswahrscheinlichkeit bis zur Krankenhausentlassung um 10–12 %. Die Glieder der Kette wirken besser zusammen, so beträgt die Verschlechterung des Überlebens, wenn Wiederbelebung durch Ersthelfer durchgeführt wird, im Durchschnitt 3–5 % pro Minute Verzögerung bis zur Defibrillation [10, 14, 39, 40].

Frühzeitige erweiterte Reanimationsmaßnahmen (ALS) und standardisierte Postreanimationsbehandlung

ALS-Maßnahmen mit Atemwegsmanagement, Medikamenten und Korrektur kausaler Faktoren können erforderlich sein, wenn erste Wiederbelebungsversuche erfolglos bleiben. Frühere Studien deuteten darauf hin, dass ALS in zuvor optimierten EMS-Systemen zur schnellen Defibrillation keinen zusätzlichen Nutzen bringt [41]. Eine kürzlich durchgeführte prospektive Studie, in der der Zusammenhang der ALS-Versorgung mit dem Überleben und dem funktionellen Ergebnis nach Reanimation beim prähospitalen Kreislaufstillstand bei mehr als 35.000 Patienten verglichen wurde, zeigte, dass frühzeitige ALS-Maßnahmen mit einem verbesserten Überleben bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus verbunden waren [42]. Eine bessere Qualität der Behandlung während der Phase nach der Wiederbelebung mit schneller Koronarangiographie, Optimierung von Kreislauf und Beatmung, gezieltem Temperaturmanagement, multimodalem Monitoring der neurologischen Funktion und deren Verlauf sowie anschließende Rehabilitation verbessern das Ergebnis [43, 44].

Die Überlebenskette in ihrem aktuellen Format konzentriert sich eher auf bestimmte Interventionen als auf das Potenzial für die Wirksamkeit jedes Glieds. Der Beitrag jedes der vier Glieder nimmt in jedem Stadium schnell ab, da die Anzahl der Patienten mit dem Fortschreiten entlang der Kette abnimmt. Daher wurde eine andere Sicht auf die Überlebenskette vorgeschlagen, um den relativen Beitrag jedes Glieds zum Überleben hervorzuheben [45]. Um das Überleben zu verbessern, soll daher ein größerer Schwerpunkt auf die Früherkennung und frühzeitige Reanimation gelegt werden und weniger auf die Postreanimationsbehandlung. Diese neue Sichtweise der Überlebenskette wird dazu beitragen, Kliniker, Wissenschaftler und Forscher darüber zu informieren, wo das größte Potenzial zur Verbesserung des Reanimationserfolgs besteht, und kann einen erneuten Fokus auf Forschung, Ausbil-

dung und Umsetzung bieten, wie in der Überlebensformel dargestellt [46].

Die Überlebenskette wurde auf die Überlebensformel ausgedehnt, da erkannt wurde, dass das Ziel, mehr Leben zu retten, nicht nur auf qualitativ hochwertiger Wissenschaft beruht, sondern auch auf einer effektiven Ausbildung von Laien und Angehörigen der Gesundheitsberufe [46, 47]. Letztendlich sollen diejenigen, die sich mit der Betreuung von Betroffenen von Kreislaufstillständen befassen, in der Lage sein, ressourceneffiziente Systeme zu implementieren, die das Überleben nach einem Kreislaufstillstand verbessern können.

In der Überlebensformel bilden drei interaktive Faktoren, Leitlinienqualität (Wissenschaft), effiziente Ausbildung der Patientenbetreuenden (Ausbildung) und eine gut funktionierende Überlebenskette auf lokaler Ebene (lokale Umsetzung), Multiplikatoren für die Überlebenschance nach Wiederbelebung.

Die Wissenschaft wird als integraler Bestandteil der beiden anderen Faktoren, Bildung und Umsetzung, anerkannt. Aufgrund der Beschaffenheit der Wiederbelebung ist es oft schwierig, qualitativ hochwertige wissenschaftliche Evidenz aus randomisierten, kontrollierten Studien zu erhalten, und in vielen Fällen sind Extrapolationen aus Beobachtungsstudien erforderlich. Es ist auch schwierig, auf Bildungsempfehlungen dieselben Evidenzstandards anzuwenden wie auf Behandlungsempfehlungen. Anbieter von Wiederbelebungsschulungen und Designer von Lehrprogrammen sollen Lernerfahrungen schaffen, die höchstwahrscheinlich zum Erwerb und zur Beibehaltung von Fähigkeiten, Kenntnissen und Einstellungen führen, die für eine gute Leistung erforderlich sind. Die Überlebensformel endet mit der lokalen Umsetzung. Die Kombination aus medizinischer Wissenschaft und Bildungseffizienz reicht nicht aus, um das Überleben zu verbessern, wenn die Umsetzung schlecht ist oder fehlt. Häufig erfordert diese Implementierung auch eine Form des Änderungsmanagements, um neue Visionen in eine lokale Kultur einzubetten. Sehr oft ist die einfache Lösung nicht die nachhaltige Lösung, und möglicherweise sind längere Verhand-

lungen und Diplomatie erforderlich. Ein Paradebeispiel dafür ist die Implementierung von Wiederbelebungsunterricht im Lehrplan von Schulen. In vielen Fällen haben Länder, die dieses Ziel letztendlich erreicht haben, jahrelang Kampagnen durchgeführt und Regierungen davon überzeugt, diese Strategie zu übernehmen [48, 49].

Messung der Leistung von Wiederbelebungssystemen

Diese ERC-Empfehlungen werden durch die „ILCOR systematic review, consensus on science and treatment recommendations on system performance“ geformt [50]. Die Verbesserung der Systemleistung ist definiert als Verbesserung auf Krankenhaus-, Gemeinde- oder Länderebene in Bezug auf Struktur, Behandlungspfade, Prozess und Qualität der Pflege. Laut ILCOR sollen zwei Arten von Ergebnisindikatoren zur Messung der Verbesserung der Systemleistung in Betracht gezogen werden: kritische (Überleben mit günstigem neurologischem Ergebnis bei Entlassung und Überleben bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus) und wichtige (Fähigkeitsleistung bei tatsächlichen Wiederbelebungen, Überleben bei Aufnahme und Systemebenenvariablen).

Das ILCOR empfiehlt Organisationen oder Gemeinschaften, die Kreislaufstillstände behandeln, ihre Leistung zu bewerten und Schlüsselbereiche mit dem Ziel der Leistungsverbesserung zu bestimmen (starke Empfehlung, sehr geringe Evidenzsicherheit). Die vom ILCOR veröffentlichte systematische Übersichtsarbeit erkennt an, dass die Evidenz für diese Empfehlung aus Studien mit größtenteils moderater bis sehr geringer Sicherheit stammt, hauptsächlich nichtrandomisierten, kontrollierten Studien [50].

Die Mehrzahl dieser Studien im Zusammenhang mit der Verbesserung der Systemleistung ergab, dass Interventionen zur Verbesserung der Systemleistung die Variablen auf Systemebene und die Fähigkeitsleistung der grundlegenden Lebenserhaltung (BLS) und der fortgeschrittenen Lebenserhaltung (ALS) bei tatsächlichen Wiederbelebungen verbesserten [51–62]. Dies führt

zu verbessertem klinischem Reanimations-erfolg nach einem Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses oder im Krankenhaus. Mehrere Studien zeigten ein verbessertes Überleben bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus [53, 55, 57, 58, 62–71] und ein Überleben mit günstigem neurologischem Ergebnis bei Entlassung [53, 55, 62–66, 69–72]. Einige Studien haben einen Zusammenhang zwischen der Verbesserung der Systemleistung und dem Überleben bis zur Aufnahme gezeigt [65, 68, 70], aber andere nicht [54, 72, 73].

Wir sind uns auch bewusst, dass Maßnahmen zur Verbesserung der Systemleistung Geld, Personal und Interessengruppen erfordern. In diesem Zusammenhang verfügen einige Systeme möglicherweise nicht über ausreichende Ressourcen, um die Verbesserung der Systemleistung umzusetzen.

Weitere Arbeiten müssen durchgeführt werden, um

- die am besten geeignete Strategie zur Verbesserung der Systemleistung zu identifizieren.
- den Einfluss lokaler und organisatorischer Merkmale zur Verbesserung der Systemleistung besser zu verstehen.
- die Kosteneffizienz jeder Intervention zur Verbesserung der Systemleistung zu ermitteln.

Social-Media- und Smartphone-Apps zur Einbindung der Öffentlichkeit

Die Mobiltelefon-technologie wird zunehmend eingesetzt, um potenzielle Ersthelfer bei prähospitalen Kreislaufstillstand einzubinden. Der Einsatz mobiler Technologien, einschließlich sozialer Medien, Mobilfunknetze und Smartphone-Anwendungen, könnte bald großen Effekt haben. Der Grund für ihre Verwendung ist, dass die Benachrichtigung der Bürger als Ersthelfer eines prähospitalen Kreislaufstillstands durch eine Smartphone-App mit einem Mobile Positioning System (MPS) oder SMS-Alarmsystem die frühe Reanimation und die frühe Defibrillation erhöhen und dadurch das Überleben verbessern kann.

Diese ERC-Empfehlungen werden durch die „ILCOR systematic review, consensus on science and treatment recommendations on system performance“ geformt. Das Review verglich prähospitalen Kreislaufstillstände (P), bei denen Ersthelfer mit der Reanimation begannen, die durch Mobiltelefon-technologie (I) alarmiert wurden, mit den Reanimationen, die vom Rettungsdienst begonnen wurden und bei denen es zu keiner Ersthelferalarmierung gekommen war (C). Parameter waren das Überleben bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus mit gutem neurologischem Ergebnis, das Überleben bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus, Krankenhauseinweisung, die Rückkehr des spontanen Kreislaufs (ROSC), die Laienreanimationsquote und die Zeit bis zur ersten Kompression/Schock (O) [50]. Die meisten Studien deuten darauf hin, dass der Einsatz von Mobiltelefon-technologie, um die Bürger als Ersthelfer bei prähospitalen Kreislaufstillstand zu alarmieren, günstige Effekte hat. Die Rate der Laienreanimation war in der Interventionsgruppe in allen Studien höher als in der Vergleichsgruppe [37, 74]. Die Überlebensrate bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus war in der Interventionsgruppe höher [74–77], aber das Überleben bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus mit günstigem neurologischem Ergebnis unterschied sich nicht zwischen der Interventions- und der Vergleichsgruppe [74, 77]. Die Zeit bis zur ersten Kompression/zum ersten Schock war in der Interventionsgruppe in allen Studien kürzer [75, 77–79]. Nach Veröffentlichung dieser ILCOR-Behandlungsempfehlung wurden weitere sechs Artikel und ein „systematic review“ veröffentlicht, die die allgemeine Wirkungsrichtung zugunsten der Intervention bekräftigen [77, 80–84]. Eine Studie zeigte, dass eine Erhöhung der Dichte von AED und Ersthelfern, die per SMS benachrichtigt wurden, die Zeit bis zur Defibrillation in Wohngebieten im Vergleich zur Zeit bis zur Defibrillation durch Rettungsdienstpersonal verkürzte. Die empfohlene Dichte von AED und Ersthelfern für die früheste Defibrillation beträgt zwei AED/km² und mindestens 10 Ersthelfer/km² [82]. Eine

systematische Überprüfung analysierte 12 verschiedene Mobiltelefonsysteme, um Bürger als Ersthelfer zu alarmieren, und ergab, dass Ersthelfer eine Alarmierung in einem Median von 28,7% der Fälle (Interquartilbereich [IQR] 27–29%) akzeptierten. Sie erreichten den Einsatzort nach einem Median von 4,6 (IQR 4,4–5,5) Minuten für die Durchführung der Wiederbelebung und nach 7,5 (IQR 6,7–8,4) Minuten, wenn zuerst ein AED geholt wurde. Ersthelfer trafen vor dem Rettungsdienst ein und begannen mit der Herz-Lungen-Wiederbelebung und brachten einen automatischen externen Defibrillator an im Median von 47% (IQR 34–58%), 24% (IQR 23–27%) und 9% (IQR 6–14%) der Fälle. Unter den Betroffenen, bei denen der Ersthelfer einen automatischen externen Defibrillator anbrachte, war der erste registrierte Herzrhythmus in einem Median von 35% (IQR 25–47%) der Fälle schockbar. Eine gepoolte Analyse bestätigte die allgemeine Richtung des Effekts zugunsten der oben angegebenen Intervention [83].

Eine kürzlich, unter dem Dach des ESCAPE-NET-Projekts durchgeführte, europäische Umfrage sammelte Daten zu Ersthelfereinsätzen nach prähospitalen Kreislaufstillstand in Europa [85, 86]. 47 (92%) OHCA-Experten aus 29 Ländern nahmen an der Umfrage teil. In mehr als der Hälfte der europäischen Länder gibt es mindestens eine Region mit einem Ersthelfersystem. Ersthelfer in Europa sind hauptsächlich Feuerwehrleute (beruflich/freiwillig), Polizisten, Bürger und außerdienstliches Gesundheitspersonal (Krankenschwestern, Ärzte, Sanitäter) sowie Taxifahrer. Die Umfrage ergab, dass in einigen europäischen Ländern (z. B. Österreich, Tschechische Republik, Dänemark, Vereinigtes Königreich, Deutschland, Ungarn, Italien, Niederlande, Rumänien, Schweden und Schweiz) die Verwendung einer App mit einem mobilen Positionierungssystem (MPS) oder einem Textnachrichten-Warnsystem eingeführt wurde. Eine weitere Umfrage wurde vom 6. Februar 2020 bis zum 16. Februar 2020 durchgeführt, um ein Bild über die verfügbaren Systeme zur Alarmierung von Ersthelfern und zur Lokalisierung des nächstgelegenen Defibrillators in ganz Europa zu erhalten

[87]. Die Ergebnisse umfassten 32 europäische Länder. Mehr als die Hälfte der Länder (62%) verfügte über mindestens ein System in einer Region zur Alarmierung von Ersthelfern. Insgesamt gab es 34 verschiedene Systeme. Fast alle Systeme (94%) erforderten eine Schulung der Bürger in lebensrettenden Sofortmaßnahmen, um Teil des Ersthelfernetzwerks zu werden. In 25 europäischen Ländern (78%) waren Systeme zur Kartierung und Lokalisierung des nächstgelegenen AED verfügbar. Angesichts der erheblichen Variabilität in ganz Europa wäre es angebracht, einen einheitlichen Standard für die Entwicklung dieser Systeme zu verfolgen. Darüber hinaus wird ein standardisierter Ansatz wie der Utstein-Stil dringend empfohlen, um eine einheitliche Berichterstattung dieser Systeme zu erhalten. Die Smartphone-basierte Aktivierung von Ersthelfern bei prähospitalen Kreislaufstillstand rettet Leben. Die Statements, die auf einer kürzlich abgehaltenen Konsenskonferenz von fünf europäischen Ländern erarbeitet wurden, können der Öffentlichkeit, den Gesundheitsdiensten und den Regierungen dabei helfen, diese Systeme in vollem Umfang zu nutzen und Wissenschaftler auf Bereiche hinzuweisen, die noch untersucht werden müssen [88].

Übereinstimmend mit ILCOR empfiehlt der ERC, dass Bürger, die sich in der Nähe eines vermuteten prähospitalen Kreislaufstillstands befinden, nach Einverständnis durch eine Smartphone-App mit einem mobilen Positionierungssystem oder einem Textnachrichten-Warnsystem benachrichtigt werden sollen (starke Empfehlung, Evidenz mit sehr geringer Sicherheit). Sobald diese Technologien allgegenwärtig werden, spielen sie eine größere Rolle in der Überlebenskette. Ein kausaler Zusammenhang zwischen Überleben und Reaktion der Bürger durch Anwendung der Technologien wurde nicht nachgewiesen. Daher sollen Systeme, die solche Technologien verwenden, die Forschung fördern sowie die Qualität der Datenerfassung verbessern, um den Nutzen ihrer Einbindung in den Rettungsdienst weiter zu verdeutlichen. Datenschutzgesetze, die als Hindernis für die Implementierung solcher Technologien angeführt werden,

müssen möglicherweise überarbeitet werden.

„European Restart a Heart Day“ (ERHD) & „World Restart a Heart“ (WRAH)

Die weltweiten Überlebensraten von prähospitalen Kreislaufstillstand bleiben trotz der Entwicklung von Richtlinien und des Einflusses von Technologie relativ niedrig [89]. Das genaue Ausmaß der Belastung durch Kreislaufstillstände in Europa und weltweit ist gut dokumentiert [90]. Der ERC erkennt, dass eine wichtige Strategie zur Erhöhung der Überlebensraten von prähospitalen Kreislaufstillständen darin besteht, die Laienreanimationsquote zu erhöhen. Wenn mehr Menschen geschult und mehr Defibrillatoren strategisch platziert werden, können mehr Leben nach Kreislaufstillständen gerettet werden [38].

Nach einer Lobbykampagne des ERC verabschiedete das Europäische Parlament im Juni 2012 mit einer Mehrheit von 396 Unterschriften eine schriftliche Erklärung, in der umfassende Trainingsprogramme zur Wiederbelebung und AED-Anwendung in allen Mitgliedsstaaten gefordert wurden. In der schriftlichen Erklärung wurde eine Anpassung der Gesetzgebung in den EU-Mitgliedsstaaten gefordert, um nationale Strategien für einen gleichberechtigten Zugang zu hochwertiger Wiederbelebung und Defibrillation zu gewährleisten. In der Erklärung wurde auch die Einführung einer europäischen Woche zur Sensibilisierung für den Kreislaufstillstand gefordert. Infolgedessen und im Rahmen der Strategie zur Erhöhung der Laienreanimationsquote kündigte der ERC an, jährlich am 16. Oktober einen Tag zur Aufklärung über Kreislaufstillstände einzuführen, der als „Restart a Heart Day“ bezeichnet wird. Das Motto des ersten „European Restart a Heart Day“ (ERHD) im Jahr 2013 lautete „Children Saving Lives“. Eine im Auftrag des ERC durchgeführte Umfrage erhielt Antworten von 23 der 30 nationalen Wiederbelebungsräte. Es wurde festgestellt, dass nur in 4 der 23 antwortenden Länder ein Training

in Erster Hilfe unter Einbeziehung von Wiederbelebung in den Lehrplänen der Schulen besteht [91]. Nationale Richtlinien zur Wiederbelebung können die Bereitschaft der Bürger zur Durchführung der Laienreanimation erhöhen. Die Initiative „Restart a Heart“ fördert aktiv die Entwicklung von nationalen Maßnahmen aller Mitgliedsstaaten in ganz Europa [92].

Im Jahr 2018 wurde die europäische „Restart a Heart“-Initiative vom International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) unterstützt und hat seitdem unter dem Namen „World Restart a Heart“ (WRAH) eine globale Dimension angenommen [93–95]. Das Motto des WRAH lautet: „Alle Bürger der Welt können ein Leben retten – alles, was man braucht, sind zwei Hände (PRÜFEN-RUFEN-DRÜCKEN)“. Jede geschulte Person ist ein potenzieller Lebensretter. Dabei ist die Anzahl von Personen, die dadurch inspiriert werden, ebenfalls geschult zu werden, unermesslich. Die Ergebnisse des WRAH 2018 übertrafen alle Erwartungen. Weltweit wurden über 675.000 Menschen in Wiederbelebung geschult [96].

Für den WRAH 2019 wurden weltweit Aufklärungsvideos an berühmten Orten produziert. Darüber hinaus wurden 191 nationale Rote-Kreuz-Gesellschaften der fünf geografischen Zonen der Welt eingeladen, sich an der Kampagne zu beteiligen. Die beeindruckendsten europäischen Ergebnisse 2019 meldete das Vereinigte Königreich, wo 291.000 Menschen in Wiederbelebung geschult wurden. Dies wurde durch die Teilnahme jeder Rettungsdienstorganisation sowie durch Unterricht durch Medizinstudenten erreicht. Wiederbelebung wurde daraufhin in den englischen Schullehrplan aufgenommen, wie auch in fünf weiteren europäischen Ländern. Dies zeigt die Kraft des WRAH, Veränderungen in der nationalen Politik zu fördern. In Polen wurden 150.562 Personen trainiert, in Deutschland 30.000 und in Italien 17.000. Während des WRAH 2019 wurden insgesamt in Europa 493.000 Menschen in Wiederbelebung geschult, während es über 5 Mio. weltweit waren. Zudem wurden bis zu 206 Mio. Menschen weltweit über soziale Medien erreicht [95].

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der ERC mit dem ERHD und WRAH einen bedeutenden Beitrag geleistet hat. Allein in den ersten zwei Jahren ist der WRAH so einflussreich gewesen, dass Länder erreicht werden konnten, die noch nicht vom ILCOR vertreten werden. Dabei ist der WRAH so viral gegangen, dass über sechs Millionen Menschen in Wiederbelebung geschult werden konnten. Der Zweck des WRAH besteht darin, dass nationale Verbände diese Initiative nutzen, um Einheitlichkeit der Praktiken und der Berichtssysteme zu fördern, Maßstäbe zu erstellen und durch gegenseitiges Lernen schwache Glieder in der Überlebenskette zu definieren, um die Gesundheitsversorgung zu verbessern. Die niedrige Rate der Wiederbelebung durch Laien kann ein Zeichen für das fehlende öffentliche Bewusstsein und somit ein Teil des Problems sein. Dies rechtfertigt die hohe Priorität dieses Themas für den ERC. Die Schulung der Öffentlichkeit ist ein wesentlicher Bestandteil der Strategie zur Bekämpfung der Belastung durch prähospitalen Kreislaufstillstand.

Auf der Grundlage eines Expertenkonsenses wird empfohlen, dass nationale Räte für Wiederbelebung, nationale Regierungen und lokale Behörden sich am WRAH beteiligen, um das Bewusstsein von Laien der Bedeutung von Wiederbelebung und AED zu schärfen. Es sollen so viele Bürger wie möglich ausgebildet werden und neue, innovative Systeme und Richtlinien entwickelt werden, die mehr Leben retten können.

KIDS SAVE LIVES

Eine obligatorische landesweite Schulung von Schulkindern hat die höchste und wichtigste langfristige Wirkung zur Verbesserung der Laienreanimationsquote [97, 98]. Auf lange Sicht scheint dies der erfolgreichste Weg zu sein, die gesamte Bevölkerung zu erreichen [99]. Die höchsten Laienreanimationsquoten werden in einigen skandinavischen Ländern gemeldet, in denen die Ausbildung von Schulkindern in Wiederbelebung seit Jahrzehnten obligatorisch ist. Dieses Konzept beginnt sich in ganz Europa und der Welt auszubreiten [17].

Nach mehreren Aktivitäten des ERC hat die Weltgesundheitsorganisation (WHO) 2015 die gemeinsame Erklärung „KIDS SAVE LIVES“ des International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR), des European Resuscitation Council (ERC), der European Patient Safety Foundation (EPSF) und der World Federation of Societies of Anaesthesiologists (WFSA) befürwortet [100, 101]. In dieser Erklärung wird empfohlen, ab dem 12. Lebensjahr an allen Schulen weltweit zwei Stunden Wiederbelebungstraining pro Schuljahr durchzuführen. In diesem Alter sind Kinder empfänglicher für Anweisungen und lernen leichter, anderen zu helfen. Auch wenn jüngere Kinder körperlich nicht in der Lage sind, eine Wiederbelebung durchzuführen, können sie dennoch die Prinzipien der Wiederbelebung als Grundlage erlernen und möglicherweise anderen Personen Anweisungen geben [102]. Aus diesem Grund empfehlen wir, allen Schulkindern das Konzept PRÜFEN-RUFEN-DRÜCKEN beizubringen. Zusätzliche Trainings für Beatmung und Anwendung eines AED können insbesondere für ältere Kinder oder Jugendliche angeboten werden, sind aber nicht auf diese beschränkt [103]. Die gesetzlichen Vorgaben für die Wiederbelebungsausbildung an Schulen in ganz Europa sind in **Abb. 2** zusammengefasst.

Schon in jungen Jahren zu beginnen, bedeutet, dass die Durchführung der Wiederbelebung wie Schwimmen oder Fahrradfahren wird: Die Fähigkeiten bleiben ein Leben lang erhalten und können auch nach längerer Abwesenheit leicht wieder aufgefrischt werden [104]. In verschiedenen Studien wurde deutlich gezeigt, dass medizinisches Fachpersonal, in Wiederbelebung geschulte Lehrer, Studenten, Gleichaltrige und andere Personen Schulkinder erfolgreich unterrichten können und alle als Multiplikatoren dienen können [105].

Weiterhin können Wiederbelebungskennntnisse und Fähigkeiten verbreitet werden, indem Kinder gebeten werden, ihre Familie und Freunde zu unterrichten [103]. Die zunehmende Erfahrung zeigt, dass bereits Kinder im Kindergartenalter und ab vier Jahren in der Lage sind, einen Kreislaufstillstand erfolgreich zu

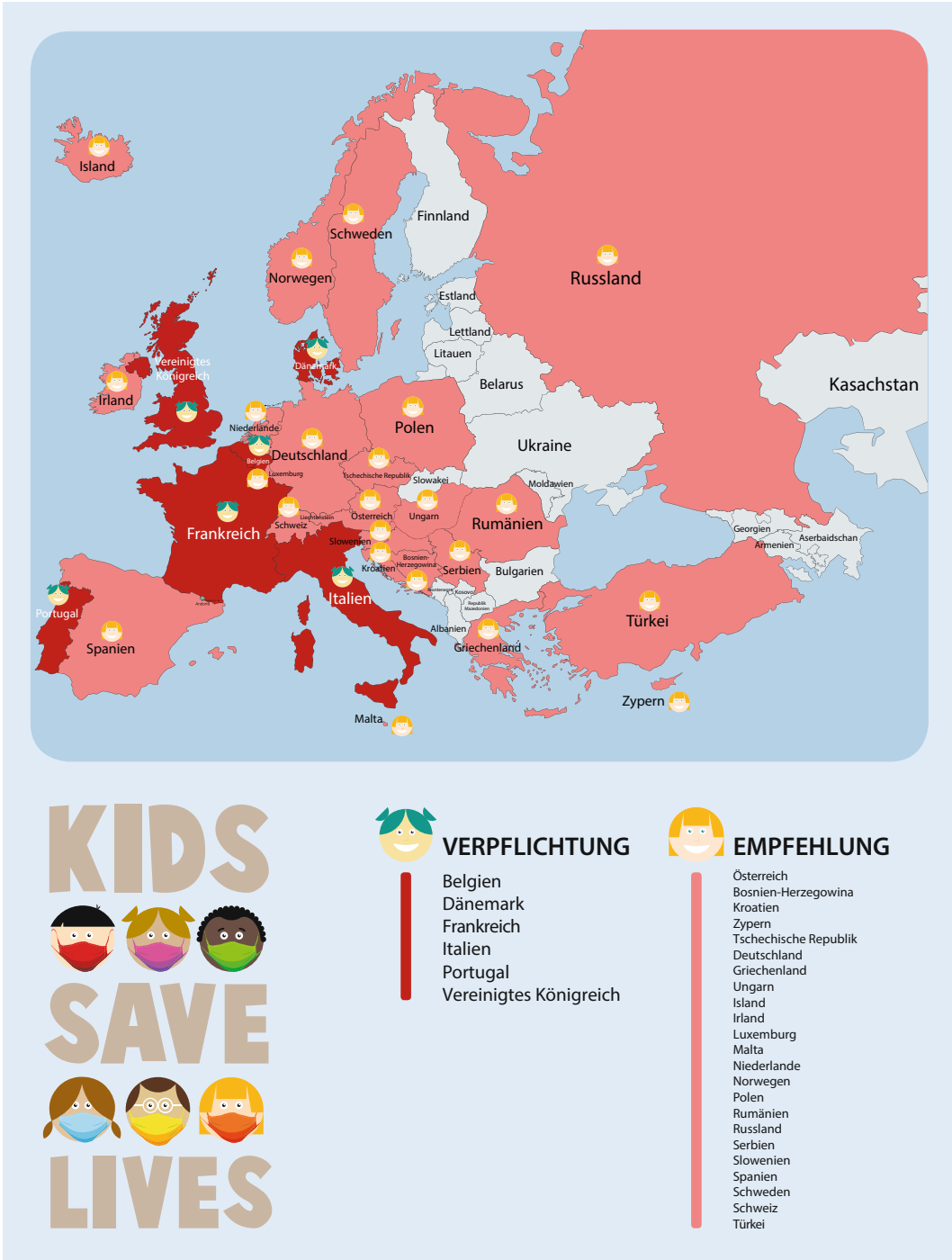


Abb. 2 ◀ KIDS SAVE LIVES: Gesetzliche Vorgaben zur Wiederbelebungsausbildung an Schulen in Europa. Die Länder mit Kindern mit *grünen* Haaren haben eine Verpflichtung für die CPR-Ausbildung, die Länder mit Kindern mit *gelben* Haaren haben CPR-Ausbildung als Empfehlung

erkennen und den Rettungsdienst zu rufen [106]. Lehrer können und sollen qualifiziert werden, Schulkinder in Wiederbelebung zu unterrichten [103]. Die Schulung von Schulkindern in Wiederbelebungsmaßnahmen wird in vielen Ländern auf der ganzen Welt durchgeführt [93, 99, 107–109]. Bisher ist die Ausbildung von Schulkindern in Wiederbelebung in sechs Ländern Eu-

ropas gesetzlich vorgeschrieben und in weiteren 24 Ländern empfohlen. Eine flächendeckende Umsetzung wurde jedoch in all diesen Ländern, in ganz Europa und weltweit, noch nicht erreicht [49, 95]. Die Ausbildung von Schulkindern in Wiederbelebung kann die öffentliche Gesundheit enorm verbessern, da die Laienreanimation der wichtigste Faktor

für ein Überleben nach einem plötzlichen Kreislaufstillstand ist [103].

Die Prinzipien von KIDS SAVE LIVES lassen sich auch auf höhere Bildungseinrichtungen übertragen. Das Lehramtsstudium soll dabei auch die Schulung von Wiederbelebungskompetenzen beinhalten, damit Lehrer Schulkindern Wiederbelebungsmaßnahmen erfolgreich vermitteln können [110]. Alle Studen-

ten des Gesundheitswesens sollen eine qualitativ hochwertige Reanimationsausbildung erhalten, um Wiederbelebung unterrichten und als Ersthelfer handeln zu können [98].

Bevölkerungsinitiativen zur Förderung der Wiederbelebungsquote

Die Rolle der Bevölkerung in der Ersthilfe durch Laienwiederbelebung bei einem prähospitalen Kreislaufstillstand ist von entscheidender Bedeutung. Die meisten Systeme sind jedoch noch weit vom Optimum entfernt. Viele Maßnahmen wurden eingeführt, um die Reaktion der Bevölkerung auf Kreislaufstillstände zu verbessern. Diese wurden in anderen Abschnitten der Leitlinien beschrieben. Es wurden mehrere Initiativen durchgeführt, um das Engagement der Bevölkerung/Community im jeweils untersuchten Gebiet zu stärken (d.h. eine Gruppe von Stadtteilen, einer oder mehrerer Städte oder Regionen, eines Teils oder einer ganzen Nation), jeweils bezogen auf Personen, die nicht zur Hilfe verpflichtet sind.

Das ILCOR führte ein Scoping-Review durch, um relevante Studien zu identifizieren [50]. Es wurden 19 Studien identifiziert, die ausschließlich Community-Initiativen der erwachsenen Bevölkerung beschrieben.

Die wichtigsten Community-Initiativen wurden in drei Kategorien eingeteilt:

- Von Ausbildern geleitete Wiederbelebungsschulungsmaßnahmen der Bevölkerung [21, 111–115].
- Massenmediale Interventionen [116, 117].
- Gebündelte Interventionen [17, 57, 118–126].

Die Auswirkungen der drei Kategorien von Community-Initiativen auf spezifische Outcomes lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Von Ausbildern geführtes Training

Alle Studien, die geleitete Schulungen durch Ausbilder betrachteten, gaben eine Laienreanimationsquote als Outcome an. 67 % der Studien zeigten einen Nutzen der Intervention [21, 111, 113, 115]. Das Überleben bis zur Entlassung aus

dem Krankenhaus wurde in 83 % der Fälle betrachtet und in 40 % dieser Studien verbessert [21, 115]. Ein Überleben mit gutem neurologischem Outcome wurde in 67 % dieser Studien berichtet und zeigte nur in 25 % der Fälle einen Nutzen der Intervention [113]. ROSC wurde in 33 % dieser Studien bewertet und zeigte in der Hälfte der Fälle eine Verbesserung durch die Intervention [115].

Massenmedien

Die beiden Studien, die die Auswirkungen dieser Art von Intervention untersuchten, berichteten nur über das Ergebnis der Laienreanimationsquote, wobei eine Studie einen Nutzen und die andere keinen Nutzen zeigte [116, 117].

Gebündelte Intervention

Keine dieser Studien berichtete über ein Überleben mit gutem neurologischem Ergebnis oder ROSC. Das Überleben bis zur Krankenhauserlassung wurde in 25 % dieser Studien angegeben und zeigte keinen Nutzen der Intervention [121, 125]. Die Laienreanimationsquote wurde in 89 % dieser Studien angegeben und zeigte in allen Fällen einen Nutzen [57, 118–120] mit einer Ausnahme [123].

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das einzige Ergebnis, das in fast allen eingeschlossenen Studien bewertet wurde, die Laienreanimationsquote war und fast alle Studien einen Nutzen bei der Implementierung von Community-Initiativen zeigten. Dieser Nutzen war höher, wenn es sich bei der Art der Intervention um ein Bündel handelte, im Vergleich zu einer Schulung unter Anleitung oder über Massenmedien. Darüber hinaus gab es einen leichten Vorteil (nur 40 % der Studien berichteten dies) für das Überleben bei Entlassung aus dem Krankenhaus. Trotz geringer Evidenz und einiger widersprüchlicher Ergebnisse halten wir es daher für sinnvoll, Community-Initiativen wie Reanimations-schulungen mit einem großen Teil der Bevölkerung oder gebündelte Interventionen durchzuführen, mit dem Ziel, die Laienreanimationsquote zu erhöhen.

Ressourcenarmes Umfeld

Im Jahr 2015 veröffentlichte der ILCOR eine systematische Übersichtsarbeit über das Reanimationstraining in Entwicklungsländern [127]. Dieses Review zeigte, dass das Wiederbelebungstraining in ressourcenarmen Umgebungen gut angenommen wird und die Mortalität von Kreislaufstillständen erheblich verringert hat. Allerdings gibt es nur wenige Informationen über die Outcomes der Reanimation in ressourcenarmen Umgebungen. Ein kürzlich durchgeführtes ILCOR-Scoping-Review von prähospitalen Kreislaufstillständen in ressourcenarmen Umgebungen zeigte eine große Variabilität der Outcomes [1]. Der Scoping-Review empfahl, zukünftige Studien in bestimmten (Sub-)Populationen durchzuführen und Ursachen des Kreislaufstillstands, einschließlich pädiatrischem Kreislaufstillstand, traumatischem Kreislaufstillstand und Kreislaufstillstand in Katastrophengebieten bzw. sogar Kreislaufstillstand in einzelnen Stadtteilen oder Gebieten innerhalb einer ansonsten ressourcenreichen Umgebung, zu untersuchen [1].

Die Definition von Umgebungen mit geringen Ressourcen variiert. Daher wurde ein umfassender Ansatz wie die Klassifizierung der Länder nach ihrem Bruttoinlandsprodukt (BIP) pro Kopf auf der Grundlage der Definitionen der Weltbank (<https://data.worldbank.org>) angewendet [50].

In Anbetracht der Ressourcenknappheit in Ländern mit niedrigem Einkommen ist die Durchführbarkeit einer vollständigen ALS- und Postreanimationsversorgung umstritten. Es wird diskutiert, ob es ethisch vertretbar ist, dass ALS für Patienten mit prähospitalen Kreislaufstillstand in bestimmten Ländern oder Gebieten nicht verfügbar ist [128]. Darüber hinaus sind die längerfristigen Ergebnisse wie das 30-Tage-Überleben oder die neurologische Funktionsfähigkeit nach einem Kreislaufstillstand in ressourcenarmen Ländern tendenziell schlechter als bei Patienten aus ressourcenreichen Ländern [1, 129]. Eine Liste der wichtigsten Wiederbelebungsgesetze und -ressourcen

wie die Erklärung der Weltgesundheitsorganisation von 2009 zur Qualität der Traumaversorgung kann dazu beitragen, die Überlebenskette zu verbessern und das Ergebnis nach prähospitalen Kreislaufstillstand zu verbessern [130].

European Resuscitation Academy (ERA) und Global Resuscitation Alliance (GRA)

Die European Resuscitation Academy hat sich zum Ziel gesetzt, die Überlebensrate nach einem Kreislaufstillstand zu verbessern, indem sie den Fokus auf die Verbesserung des Gesundheitssystems legt. Dies bringt einzelne Glieder der Überlebenskette und der Überlebensformel zusammen. Das gesamte Personal des Rettungsdiensts (Manager, administrative und medizinische Leiter, Ärzte, Rettungsanwärter und Disponenten) aus verschiedenen Gesundheitssystemen und Ländern ist eingeladen, das ERA-Programm (angelehnt an die zehn Schritte zur Verbesserung der Überlebensrate bei Kreislaufstillstand der Resuscitation Academy aus Seattle, USA) zusammen mit den örtlichen Gesundheitseinrichtungen zu erlernen [131]. Die ERA legt einen Schwerpunkt auf die Definition der lokalen Überlebensrate bei Kreislaufstillstand. Hier ist die Datenmeldung in einer standardisierten Utstein-Vorlage relevant. Die teilnehmenden Rettungsdienste werden angeregt, konkrete Maßnahmen zur Verbesserung der Überlebensrate bei Kreislaufstillstand zu entwickeln. Diese werden entsprechend überprüft. „Es braucht ein System, um ein Leben zu retten“ fasst den Kern jedes Programms der Resuscitation Academy weltweit zusammen. Alle medizinische Wissenschaft und pädagogische Effizienz werden ohne einen klaren strategischen Plan zur Förderung der lokalen Umsetzung nicht zu positiven Ergebnissen bei OHCA und IHCA führen. Dies spiegelt sich in der Formel für das Überleben bei der Reanimation wider. Die Mission der Global Resuscitation Alliance (GRA) ist es, die Reanimation durch das Modell der Resuscitation Academy voranzutreiben. Hierbei wird die Implementierung effektiver Programme in den Com-

munities durch Qualitätsverbesserung beschleunigt.

Rolle des Disponenten

Das ILCOR empfiehlt den Leitstellen, einen standardisierten Algorithmus und/oder standardisierte Kriterien einzuführen. Damit kann sofort festgestellt werden, ob ein Patient zum Zeitpunkt des Notrufs einen Kreislaufstillstand erleidet sowie die Diagnosefähigkeit überwacht und verfolgt werden. Das ILCOR rät außerdem, dass die Leitstellen Möglichkeiten suchen, ihre Sensitivität zur Erkennung von Kreislaufstillständen zu optimieren (Minimierung von falsch-negativen Meldungen) [12]. Diese starke Empfehlung basierte auf sehr geringer Evidenz aus 46 Beobachtungsstudien, die 789.004 erwachsene Patienten mit prähospitalen Kreislaufstillstand einschlossen und eine Erkennung des Atemstillstands zwischen 46 % und 98 % und eine Spezifität zwischen 32 % und 100 % angaben [28, 29, 80, 132–173]. Das Review kam zu dem Schluss, dass die Studien zu heterogen für einen direkten Vergleich verschiedener Kriterien, Algorithmen, Disponentenhintergründe oder Trainings waren und die diagnostischen Möglichkeiten innerhalb der verschiedenen Kategorien stark variierten, ohne dass sich klare Muster abzeichneten.

Die klare Empfehlung für Leitstellen, einen standardisierten Algorithmus und/oder standardisierte Kriterien zur Feststellung eines Kreislaufstillstands zu verwenden, obwohl die Evidenz dafür sehr gering ist, wird durch die Vorteile im Zusammenhang mit der Früherkennung und der frühzeitigen Wiederbelebung durch Laien aufgewogen. Darüber hinaus stellte das ILCOR fest, dass die großen Unterschiede in den gemeldeten Diagnosefähigkeiten aller Systeme eine Notwendigkeit der Überwachung und kontinuierlichen Verbesserung bedingen.

In Übereinstimmung mit dem ILCOR empfiehlt der ERC den Leitstellen, einen standardisierten Algorithmus und/oder standardisierte Kriterien zu implementieren, um sofort festzustellen, ob ein Patient zum Zeitpunkt des Notrufs einen Kreislaufstillstand erleidet. Der ERC un-

terstützt den Bedarf an qualitativ hochwertiger Forschung, die Lücken in diesem Bereich untersucht.

Telefonreanimation

Das ILCOR empfiehlt, dass die Rettungsleitstellen über Systeme verfügen, die den Disponenten ermöglichen, Anweisungen zur Wiederbelebung erwachsener Patienten mit Kreislaufstillstand zu geben [23]. Diese starke Empfehlung basierte auf einer sehr geringen Evidenz, die aus 30 Beobachtungsstudien gezogen wurde; 16 Studien verglichen die Ergebnisse von Patienten, bei denen eine Telefonreanimationsanleitung angeboten wurde, mit den Ergebnissen von Patienten ohne Anleitung [24, 32, 136, 141, 149, 152, 154, 174–182], und 14 Studien verglichen die Ergebnisse von Patienten, die eine Telefonreanimationsanleitung erhalten hatten, mit den Ergebnissen von Patienten, die keine Anleitung erhielten [136, 141, 149, 174–177, 180, 181].

Sechs Studien berichteten über ein Überleben mit gutem neurologischem Outcome, wenn Anweisungen zur Telefonreanimation angeboten wurden, im Vergleich ohne Anweisungen. Das Überleben mit einem guten neurologischen Outcome bei Entlassung aus dem Krankenhaus (5533 Patienten) war unter den Patienten mit angebotenen Reanimationsanweisungen höher (relatives Risiko [RR] 1,67 [95 %-CI 1,21, 2,31]; $p = 0,002$) [152, 175]. Das Überleben mit einem guten neurologischen Outcome nach einem Monat (44.698 Patienten) war unter den Patienten mit angebotenen CPR-Anweisungen höher (RR 1,09 [95 %-CI 1,03–1,15]; $p = 0,004$) [176, 180, 182]. Das Überleben mit gutem neurologischem Outcome nach 6 Monaten (164 Patienten) war unter den Patienten mit angebotenen CPR-Anweisungen nicht signifikant höher (RR 1,27 [95 %-CI 0,72, 2,27]; $p = 0,14$) [181].

Fünf Studien berichteten über eine angepasste Analyse für das Überleben mit einem guten neurologischen Outcome, wenn eine Anweisung zur Telefonreanimation erfolgte im Vergleich ohne Anweisungen [25–27, 179, 180]. Die Überlebensrate mit einem guten neurologischen Outcome bei der Entlassung aus dem Krankenhaus (35.921

Patienten) war bei denjenigen höher, die eine von einem Rettungsdienst unterstützte Telefonreanimation erhielten, als bei denjenigen ohne unterstützte Reanimation (angepasstes Odds Ratio [OR_{adj}] 1,54 [95 %-CI 1,35, 1,76]) [25–27]. Die Überlebensrate mit gutem neurologischem Outcome nach einem Monat (4306 Patienten) war bei denjenigen höher, die eine von einem Rettungsdienst unterstützte Telefonreanimation erhielten, als bei denjenigen ohne Unterstützung (OR_{adj} 1,81 [95 %-CI 1,23, 1,76]) [180].

Die Überlebensrate mit einem guten neurologischen Outcome bei Entlassung aus dem Krankenhaus (17.209 Patienten) war bei denjenigen, die eine von einem Rettungsdienst unterstützte Telefonreanimation erhielten, ähnlich zu denen ohne Unterstützung (OR_{adj} 1,12 [95 %-CI 0,94, 1,34]) [26]. Die Überlebensrate mit einem guten neurologischen Outcome nach einem Monat (78.112 Patienten) war bei denjenigen, die eine von einem Rettungsdienst unterstützte Telefonreanimation erhielten, ähnlich hoch zu Reanimationen ohne Unterstützung (OR_{adj} 1,00 [95 %-CI 0,91, 1,08]) [179].

Die wissenschaftliche Bewertung der Wirkung der Telefonreanimation ist komplex, da sie die Ergebnisse von Patienten, denen eine assistierte Telefonreanimation angeboten wurde oder die diese erhalten haben, mit den Ergebnissen von Patienten vergleicht, die keine Unterstützung bei der Reanimation erhalten haben. Insgesamt stellte das ILCOR fest, dass Ergebnisse von Patienten, die eine Telefonreanimation erhielten, generell besser waren als von Reanimationen ohne Unterstützung und manche Outcomes vergleichbar waren. Das ILCOR legt mehr Wert auf Studien, die adjustierte Analysen lieferten, da Kohorten von Patienten, die keine unterstützten Reanimationen erhielten, im Allgemeinen günstigere prognostische Merkmale im Vergleich zur assistierten Telefonreanimation aufwiesen und Kohorten von Patienten, die gar keine Laienreanimation erhielten, im Allgemeinen ungünstige prognostische Merkmale hatten.

In Übereinstimmung mit dem ILCOR empfiehlt der ERC, dass die Notrufzen-

tralen über Systeme verfügen, die es den Anrufern ermöglichen Anweisungen zur Wiederbelebung von erwachsenen Patienten mit Kreislaufstillstand bereitzustellen und dass die Disponenten diese Anweisungen zur Wiederbelebung von erwachsenen Patienten mit Kreislaufstillstand geben (falls erforderlich). Der ERC unterstützt die Forschung zu neuen Technologien, wie z. B. die Lokalisierung und Verteilung von AED und deren Zusammenspiel mit Laien und Ersthelfern.

Telefonreanimation mit Herzdruckmassage im Vergleich zur Standardreanimation

Das ILCOR empfiehlt, dass Einsatzkräfte Anrufern bei Erwachsenen mit Verdacht auf Kreislaufstillstand Anweisungen zur Durchführung einer reinen Herzdruckmassage geben [183]. Diese starke Empfehlung basiert auf drei randomisierten, kontrollierten Studien, die 3728 Erwachsene mit prähospitalen Kreislaufstillstand einschlossen. Die Evidenz wies geringe Aussagekraft aus [184–186]. Nur eine Studie berichtete über das Ergebnis „Überleben mit günstigem neurologischem Ausgang“ und zeigte keinen Vorteil der reinen Herzdruckmassage gegenüber der Standardreanimation (RR 1,25 [95 %-CI 0,94, 1,66]; $p = 0,13$) [185] [Rea 2010 423]. Das Überleben bis zur Krankenhausentlassung war ebenfalls nicht signifikant unterschiedlich (RR 1,20 [95 %-CI 1,00, 1,45]; $p = 0,05$) [184–186].

Bei der Formulierung dieser Empfehlungen erkannte das ILCOR an, dass die Evidenz zur Unterstützung dieser Empfehlungen von geringer Aussagekraft ist und Untersuchungen zu einer Zeit durchgeführt wurden, als das Verhältnis von Beatmungen zu Herzdruckmassage 15:2 betrug, was zu größeren Unterbrechungen der Herzdruckmassage führte als das derzeit empfohlene Verhältnis von 30:2. Das Resultat der Studien spricht jedoch durchweg für Telefonreanimationen, die eine reine Kompressionsanleitung verwenden. Die ILCOR-BLS-Arbeitsgruppe prüfte die gesamte verfügbare Evidenz unter Berücksichtigung der aktuellen gängigen Praxis, Ausbildung und Qualitätssicherung. Trotz geringer Evidenz wurde die hohe Empfehlung

der alleinigen Herzdruckmassage in der telefongestützten Reanimation beibehalten. Bei diesen Empfehlungen legte das ILCOR einen höheren Wert auf die Einleitung von Herzdruckmassage durch Laien und weniger Wert auf mögliche Schäden durch verzögerte Beatmung.

In Übereinstimmung mit dem ILCOR empfiehlt der ERC, dass Disponenten bei Verdacht auf prähospitalen Kreislaufstillstand bei Erwachsenen am Telefon Anweisungen zur Durchführung einer reinen Herzdruckmassage geben. Der ERC unterstützt qualitativ hochwertige Forschung, um ungelöste Fragen im Zusammenhang mit der optimalen Anweisungssequenz, der Identifizierung von Schlüsselwörtern und dem Einfluss von Telefon-Wiederbelebungsanleitungen mit nichtkardialer Ursache wie Ertrinken, Trauma und Asphyxie bei Erwachsenen und Kindern anzugehen.

Innerklinische Notfallteams, einschließlich Frühwarnscores und medizinischer Notfallteams

Bei kranken Patienten, die ins Krankenhaus eingeliefert werden, besteht die Gefahr einer Verschlechterung und eines Kreislaufstillstands. Die Patienten zeigen häufig schon Stunden oder Tage vor dem Kreislaufstillstand Anzeichen und Symptome [8]. Rapid Response Systems (RRS) sind Programme zur Verbesserung der Sicherheit von Krankenhauspatienten, deren Zustand sich schnell verschlechtert [187]. Ein erfolgreiches RRS kann als ein krankenhausesweites System definiert werden, das Beobachtung und Erkennung von Verschlechterung sowie maßgeschneiderte Reaktionen für Stationspatienten gewährleistet. Zu diesem System können auch innerklinische Notfallteams oder Medical Emergency Teams (MET, medizinische Notfallteams) gehören [188].

Die ILCOR-Behandlungsempfehlung schlägt vor, dass Krankenhäuser die Einführung von Schnellreaktionssystemen (Rapid Response Team/Medical Emergency Team) in Betracht ziehen, um die Inzidenz von Kreislaufstillstand und Sterblichkeit im Krankenhaus zu reduzieren. Diese Empfehlung basiert auf einer systematischen Übersichtsar-

beit (schwache Empfehlung, Evidenz von geringer Qualität) [50]. Insgesamt 57 Beobachtungsstudien [64, 189–243] und 2 randomisierte Studien [244, 245] wurden in die systematische Überprüfung einbezogen. Es gibt Daten mit geringer Sicherheit, die auf eine verbesserte Überlebensrate und eine geringere Inzidenz von Kreislaufstillständen in denjenigen Krankenhäusern hinweisen, die ein RRS eingeführt haben. Außerdem gibt es einen Hinweis auf einen Dosis-Wirkungs-Effekt, wobei Systeme mit höherer Intensität (z. B. höhere RRS-Aktivierungsraten, leitendes medizinisches Personal in RRS-Teams) effektiver sind.

In Übereinstimmung mit dem ILCOR schlägt der ERC vor, dass Krankenhäuser die Einführung eines Schnellreaktionssystems (Rapid Response Team/medizinisches Notfallteam) in Betracht ziehen, um die Inzidenz von Kreislaufstillständen im Krankenhaus und die Mortalität im Krankenhaus zu verringern.

Cardiac Arrest Zentren

Es gibt große Unterschiede zwischen Krankenhäusern hinsichtlich der Verfügbarkeit und Art der Postreanimationsbehandlung sowie der klinischen Outcomes [246, 247]. Cardiac Arrest Zentren sind Krankenhäuser, die evidenzbasierte Wiederbelebungsbehandlungen einschließlich interventioneller Notfallkardiologie und gebündelter Intensivtherapie mit gezieltem Temperaturmanagement sowie protokollierter kardiopulmonaler Unterstützung und Prognose anbieten [248, 249]. Das ILCOR schlägt vor, dass erwachsene Patienten mit nichttraumatischem präklinischem Kreislaufstillstand nach Möglichkeit in Cardiac Arrest Zentren behandelt werden sollen [50, 250]. Diese schwache Empfehlung basiert auf einem systematischen Review mit sehr geringer Sicherheit, das 21 Beobachtungsstudien [251–271] und eine randomisierte Pilotstudie umfasste [272]. Von diesen wurden 17 Beobachtungsstudien letztendlich in eine Metaanalyse einbezogen [251–257, 262–271]. Diese Metaanalyse ergab, dass Patienten, die in Cardiac Ar-

rest Zentren betreut wurden, ein besseres Überleben mit positiven neurologischen Ergebnissen bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus aufwiesen. Der Überlebensvorteil durch die Versorgung in Cardiac Arrest Zentren bezog sich nicht auf das Langzeitüberleben (Überleben bis 30 Tage mit vorteilhaftem neurologischem Ergebnis und Überleben bis 30 Tage).

Die resultierenden ILCOR-Behandlungsempfehlungen umfassten [23]:

- Wir schlagen vor, erwachsene nicht-traumatische Patienten mit prähospitalen Kreislaufstillstand eher in Cardiac Arrest Zentren als anderen Kliniken zu versorgen.
- Wir können keine Empfehlung für oder gegen eine regionale Triage von Patienten mit prähospitalen Kreislaufstillstand zu einem Cardiac Arrest Zentrum durch einen primären Rettungsdiensttransport oder einen sekundären internen Transfer abgeben.

In Übereinstimmung mit dem ILCOR schlägt der ERC vor, erwachsene Patienten mit nichttraumatischem prähospitalen Kreislaufstillstand eher in Cardiac Arrest Zentren als in anderen Kliniken zu behandeln. Im Jahr 2020 einigten sich die wichtigsten europäischen Organisationen, die an der Behandlung von OHCA-Patienten beteiligt sind, darauf, dass Patienten mit prähospitalen Kreislaufstillstand mit vermuteter kardialer Ätiologie direkt in ein Krankenhaus mit zu jedem Zeitpunkt möglicher (24/7-) Koronarangiographie gebracht werden sollen [273].

Korrespondenzadresse

Federico Semeraro

Department of Anaesthesia, Intensive Care and Emergency Medical Services, Maggiore Hospital
Bologna, Italien
rott@grc-org.de

Korrespondierende Übersetzerin

Nadine Rott M.Sc.
Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin
Universitätsklinikum Köln (AöR)
Kerpener Straße 62, 50937 Köln
rott@grc-org.de

Danksagung. Die Leitlinienverfasser bedanken sich bei Tommaso Scquizzato und Zace Drieda für Ihren Beitrag. TS und ZD leisteten einen wichtigen Beitrag zu den sozialen Medien und Smartphone-Apps zur Einbindung der Community, zur Organisation der europäischen Umfrage zur Verwendung von Apps sowie zur Überprüfung der statistischen Analyse und des Evidenzniveaus. Dank an Gavin D. Perkins und Jerry P. Nolan für die redaktionelle Betreuung.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. T.M. Olasveengen deklariert Forschungsförderung durch die Laerdal Foundation und die Zoll Foundation. B.W. Böttiger meldet Referentenhonorare von Baxalta, BayerVital, Boehringer Ingelheim, ZOLL, FomF, Bard, Stemple und Novartis Pharma. R. Greif meldet seine Rolle als Herausgeber der Zeitschrift *Trends in Anaesthesia and Critical Care* sowie seine Rolle als Associate Editor des *European Journal of Anaesthesiology*. Er berichtet über institutionelle Forschungsförderung. G. Ristagno deklariert seine Rolle als Berater für ZOLL. Er berichtet über Forschungsförderung von ZOLL für die AMSA-Studie und andere institutionelle Förderungen wie die EU Horizon 2020-Unterstützung für ESCAPE-NET, die Fondazione Sestini-Unterstützung für das Projekt „CPArtrial“, EU Horizon 2020 sowie die Koordination und Unterstützung für das Projekt „iProcureSecurity“. A.S. Lockey berichtet über seine Rolle als medizinischer Berater der Firma First on Scene Training. A. Scapigliati erklärt Forschungsförderung von EU Horizon 2020 für das Projekt „iProcureSecurity“. J. Yeung erklärt Forschungsförderungen vom National Institute for Health Research und vom Resuscitation Council UK. F. Lippert deklariert Forschungsförderung durch die Laerdal foundation, ZOLL foundation, NovoNordic foundation und Danish Trygfonden. F. Semeraro, D. Cimpoesu, M. Georgiou, J. Schlieber, K.G. Monsieurs, S. Schnaubelt und R. Burkart geben an, das kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Schnaubelt S, Monsieurs KG, Semeraro F et al (2020) Clinical outcomes from out-of-hospital cardiac arrest in low-resource settings—a scoping review. *Resuscitation* 156:137–145
2. Perkins GD, Gräsner J-T, Semeraro F et al (2021) Kurzfassung. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. *Notfall Rettungsmed.* <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00883-z>
3. Ahnefeld FW (1968) Resuscitation in cardiac arrest. *Verh Dtsch Ges Inn Med* 74:279–287
4. Newman MM (1989) Chain of survival concept takes hold. *JEMS* 14:11–13
5. Cummins RO, Ornato JP, Thies WH, Pepe PE (1991) Improving survival from sudden cardiac arrest: the “chain of survival” concept. A statement for health professionals from the Advanced Cardiac Life Support Subcommittee and the Emergency Cardiac Care Committee, American Heart Association. *Circulation* 83:1832–1847

6. Nolan J, Soar J, Eikeland H (2006) The chain of survival. *Resuscitation* 71:270–271
7. Perkins GD, Handley AJ, Koster RW et al (2015) European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2015: section 2. Adult basic life support and automated external defibrillation. *Resuscitation* 95:81–99
8. Andersen LW, Kim WY, Chase M et al (2016) The prevalence and significance of abnormal vital signs prior to in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 98:112–117
9. Churpek MM, Yuen TC, Winslow C, Hall J, Edelson DP (2015) Differences in vital signs between elderly and nonelderly patients prior to ward cardiac arrest. *Crit Care Med* 43:816–822
10. Waalewijn RA, Tijssen JG, Koster RW (2001) Bystander initiated actions in out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation: results from the Amsterdam Resuscitation Study (ARRESTUS). *Resuscitation* 50:273–279
11. Takei Y, Nishi T, Kamikura T et al (2015) Do early emergency calls before patient collapse improve survival after out-of-hospital cardiac arrests? *Resuscitation* 88:20–27
12. Olasveengen TM, Mancini ME, Perkins GD et al (2020) Adult basic life support: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Circulation* 142:S41–S91
13. Olasveengen TM, Semeraro F, Ristagno G et al (2021) European Resuscitation Council guidelines for basic life support. *Resuscitation* 161:98–114
14. Valenzuela TD, Roe DJ, Cretin S, Spaite DW, Larsen MP (1997) Estimating effectiveness of cardiac arrest interventions: a logistic regression survival model. *Circulation* 96:3308–3313
15. Holmberg M, Holmberg S, Herlitz J, Gardelov B (1998) Survival after cardiac arrest outside hospital in Sweden. Swedish Cardiac Arrest Registry. *Resuscitation* 36:29–36
16. Holmberg M, Holmberg S, Herlitz J (2001) Factors modifying the effect of bystander cardiopulmonary resuscitation on survival in out-of-hospital cardiac arrest patients in Sweden. *Eur Heart J* 22:511–519
17. Wissenberg M, Lippert FK, Folke F et al (2013) Association of national initiatives to improve cardiac arrest management with rates of bystander intervention and patient survival after out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA* 310:1377–1384
18. Hasselqvist-Ax I, Riva G, Herlitz J et al (2015) Early cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 372:2307–2315
19. Christensen DM, Rajan S, Kragholm K et al (2019) Bystander cardiopulmonary resuscitation and survival in patients with out-of-hospital cardiac arrest of non-cardiac origin. *Resuscitation* 140:98–105
20. Kragholm K, Wissenberg M, Mortensen RN et al (2017) Bystander efforts and 1-year outcomes in out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 376:1737–1747
21. Fordyce CB, Hansen CM, Kragholm K et al (2017) Association of public health initiatives with outcomes for out-of-hospital cardiac arrest at home and in public locations. *JAMA Cardiol* 2:1226–1235
22. Sondergaard KB, Wissenberg M, Gerds TA et al (2019) Bystander cardiopulmonary resuscitation and long-term outcomes in out-of-hospital cardiac arrest according to location of arrest. *Eur Heart J* 40:309–318
23. Soar J, Maconochie I, Wyckoff MH et al (2019) 2019 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 145:95–150
24. Ro YS, Shin SD, Song KJ et al (2016) Effects of dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation on survival outcomes in infants, children, and adolescents with out-of-hospital cardiac arrests. *Resuscitation* 108:20–26
25. Wu Z, Panczyk M, Spaite DW et al (2018) Telephone cardiopulmonary resuscitation is independently associated with improved survival and improved functional outcome after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 122:135–140
26. Ro YS, Shin SD, Lee YJ et al (2017) Effect of dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation program and location of out-of-hospital cardiac arrest on survival and neurologic outcome. *Ann Emerg Med* 69:52–61.e1
27. Chang I, Lee SC, Shin SD et al (2018) Effects of dispatcher-assisted bystander cardiopulmonary resuscitation on neurological recovery in paediatric patients with out-of-hospital cardiac arrest based on the pre-hospital emergency medical service response time interval. *Resuscitation* 130:49–56
28. Viereck S, Möller TP, Ersbøll AK et al (2017) Recognising out-of-hospital cardiac arrest during emergency calls increases bystander cardiopulmonary resuscitation and survival. *Resuscitation* 115:141–147
29. Shah M, Bartram C, Irwin K et al (2018) Evaluating dispatch-assisted CPR using the CARES registry. *Prehosp Emerg Care* 22:222–228
30. Rea TD, Eisenberg MS, Cully LL, Becker L (2001) Dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation and survival in cardiac arrest. *Circulation* 104:2513–2516
31. Chang I, Ro YS, Shin SD, Song KJ, Park JH, Kong SY (2018) Association of dispatcher-assisted bystander cardiopulmonary resuscitation with survival outcomes after pediatric out-of-hospital cardiac arrest by community property value. *Resuscitation* 132:120–126
32. Moriwaki Y, Tahara Y, Kosuge T, Suzuki N (2016) The effect of telephone advice on cardiopulmonary resuscitation (CPR) on the rate of bystander CPR in out-of-hospital cardiopulmonary arrest in a typical urban area. *Hong Kong J Emerg Med* 23:220–226
33. Nakashima T, Noguchi T, Tahara Y et al (2019) Public-access defibrillation and neurological outcomes in patients with out-of-hospital cardiac arrest in Japan: a population-based cohort study. *Lancet* 394:2255–2262
34. Pollack RA, Brown SP, Rea T et al (2018) Impact of bystander automated external defibrillator use on survival and functional outcomes in shockable observed public cardiac arrests. *Circulation* 137:2104–2113
35. Berdowski J, Blom MT, Bardai A, Tan HL, Tijssen JG, Koster RW (2011) Impact of onsite or dispatched automated external defibrillator use on survival after out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 124:2225–2232
36. Valenzuela TD, Roe DJ, Nichol G, Clark LL, Spaite DW, Hardman RG (2000) Outcomes of rapid defibrillation by security officers after cardiac arrest in casinos. *N Engl J Med* 343:1206–1209
37. Ringh M, Rosenqvist M, Hollenberg J et al (2015) Mobile-phone dispatch of laypersons for CPR in out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 372:2316–2325
38. Kitamura T, Kiyohara K, Sakai T et al (2016) Public-access defibrillation and out-of-hospital cardiac arrest in Japan. *N Engl J Med* 375:1649–1659
39. Gold LS, Fahrenbruch CE, Rea TD, Eisenberg MS (2010) The relationship between time to arrival of emergency medical services (EMS) and survival from out-of-hospital ventricular fibrillation cardiac arrest. *Resuscitation* 81:622–625
40. Larsen MP, Eisenberg MS, Cummins RO, Hallstrom AP (1993) Predicting survival from out-of-hospital cardiac arrest: a graphic model. *Ann Emerg Med* 22:1652–1658
41. Stiell IG, Wells GA, Field B et al (2004) Advanced cardiac life support in out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 351:647–656
42. Kurz MC, Schmicker RH, Leroux B et al (2018) Advanced vs. basic life support in the treatment of out-of-hospital cardiopulmonary arrest in the resuscitation outcomes consortium. *Resuscitation* 128:132–137
43. Soar J, Nolan JP, Böttiger BW et al (2015) European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2015: section 3. Adult advanced life support. *Resuscitation* 95:100–147
44. Nolan JP, Soar J, Cariou A et al (2015) European Resuscitation Council and European Society of Intensive Care Medicine guidelines for post-resuscitation care 2015: section 5 of the European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2015. *Resuscitation* 95:202–222
45. Deakin CD (2018) The chain of survival: not all links are equal. *Resuscitation* 126:80–82
46. Soreide E, Morrison L, Hillman K et al (2013) The formula for survival in resuscitation. *Resuscitation* 84:1487–1493
47. Chamberlain DA, Hazinski MF (2003) Education in resuscitation. *Resuscitation* 59:11–43
48. Semeraro F, Wingen S, Schroeder DC et al (2016) Kids Save Lives implementation in Europe: a survey through the ERC Research NET. *Resuscitation* 107:e7–e9
49. Semeraro F, Wingen S, Schroeder DC et al (2018) Kids Save Lives – three years of implementation in Europe. *Resuscitation* 131:e9–e11
50. Greif R (2020) Education, implementation, and teams 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A188–A239. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.09.014>
51. Bradley SM, Huszti E, Warren SA, Merchant RM, Sayre MR, Nichol G (2012) Duration of hospital participation in get with the guidelines-resuscitation and survival of in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 83:1349–1357
52. Edelson DP, Litzinger B, Arora V et al (2008) Improving in-hospital cardiac arrest process and outcomes with performance debriefing. *Arch Intern Med* 168:1063–1069
53. Grunau B, Kawano T, Dick W et al (2018) Trends in care processes and survival following prehospital resuscitation improvement initiatives for out-of-hospital cardiac arrest in British Columbia, 2006–2016. *Resuscitation* 125:118–125
54. Hostler D, Everson-Stewart S, Rea TD et al (2011) Effect of real-time feedback during cardiopulmonary resuscitation outside hospital: prospective, cluster-randomised trial. *BMJ* 342:d512
55. Hubner P, Lobmeyr E, Wallmüller C et al (2017) Improvements in the quality of advanced life support and patient outcome after implementation of a standardized real-life post-resuscitation feedback system. *Resuscitation* 120:38–44

56. Hunt EA, Jeffers J, McNamara L et al (2018) Improved cardiopulmonary resuscitation performance with CODE ACES²: a resuscitation quality bundle. *J Am Heart Assoc* 7:e9860
57. Hwang WS, Park JS, Kim SJ, Hong YS, Moon SW, Lee SW (2017) A system-wide approach from the community to the hospital for improving neurologic outcomes in out-of-hospital cardiac arrest patients. *Eur J Emerg Med* 24:87–95
58. Knight LJ, Gabhart JM, Earnest KS, Leong KM, Anglemeyer A, Franzon D (2014) Improving code team performance and survival outcomes: implementation of pediatric resuscitation team training. *Crit Care Med* 42:243–251
59. Lyon RM, Clarke S, Milligan D, Clegg GR (2012) Resuscitation feedback and targeted education improves quality of pre-hospital resuscitation in Scotland. *Resuscitation* 83:70–75
60. Spitzer CR, Evans K, Buehler J, Ali NA, Besecker BY (2019) Code blue pit crew model: a novel approach to in-hospital cardiac arrest resuscitation. *Resuscitation* 143:158–164
61. Weston BW, Jasti J, Lerner EB, Szabo A, Aufderheide TP, Colella MR (2017) Does an individualized feedback mechanism improve quality of out-of-hospital CPR? *Resuscitation* 113:96–100
62. Wolfe H, Zebuhr C, Topjian AA et al (2014) Interdisciplinary ICU cardiac arrest debriefing improves survival outcomes. *Crit Care Med* 42:1688–1695
63. Anderson ML, Nichol G, Dai D et al (2016) Association between hospital process composite performance and patient outcomes after in-hospital cardiac arrest care. *JAMA Cardiol* 1:37–45
64. Davis DP, Graham PG, Husa RD et al (2015) A performance improvement-based resuscitation programme reduces arrest incidence and increases survival from in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 92:63–69
65. Del Rios M, Weber J, Pugach O et al (2019) Large urban center improves out-of-hospital cardiac arrest survival. *Resuscitation* 139:234–240
66. Ewy GA, Sanders AB (2013) Alternative approach to improving survival of patients with out-of-hospital primary cardiac arrest. *J Am Coll Cardiol* 61:113–118
67. Kim YT, Shin SD, Hong SO et al (2017) Effect of national implementation of Utstein recommendation from the global resuscitation alliance on ten steps to improve outcomes from out-of-hospital cardiac arrest: a ten-year observational study in Korea. *BMJ Open* 7:e16925
68. Nehme Z, Bernard S, Cameron P et al (2015) Using a cardiac arrest registry to measure the quality of emergency medical service care: decade of findings from the Victorian Ambulance Cardiac Arrest Registry. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 8:56–66
69. Park JH, Shin SD, Ro YS et al (2018) Implementation of a bundle of Utstein cardiopulmonary resuscitation programs to improve survival outcomes after out-of-hospital cardiac arrest in a metropolis: a before and after study. *Resuscitation* 130:124–132
70. Pearson DA, Nelson RD, Monk L et al (2016) Comparison of team-focused CPR vs standard CPR in resuscitation from out-of-hospital cardiac arrest: results from a statewide quality improvement initiative. *Resuscitation* 105:165–172
71. Stub D, Schmicker RH, Anderson ML et al (2015) Association between hospital post-resuscitative performance and clinical outcomes after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 92:45–52
72. Sporer K, Jacobs M, Derevin L, Duval S, Pointer J (2017) Continuous quality improvement efforts increase survival with favorable neurologic outcome after out-of-hospital cardiac arrest. *Prehosp Emerg Care* 21:1–6
73. Hopkins CL, Burk C, Moser S, Meersman J, Baldwin C, Youngquist ST (2016) Implementation of pit crew approach and cardiopulmonary resuscitation metrics for out-of-hospital cardiac arrest improves patient survival and neurological outcome. *J Am Heart Assoc* 5:e2892
74. Lee SY, Shin SD, Lee YJ et al (2019) Text message alert system and resuscitation outcomes after out-of-hospital cardiac arrest: a before-and-after population-based study. *Resuscitation* 138:198–207
75. Caputo ML, Muschietti S, Burkart R et al (2017) Lay persons alerted by mobile application system initiate earlier cardio-pulmonary resuscitation: a comparison with SMS-based system notification. *Resuscitation* 114:73–78
76. Pijls RW, Nelemans PJ, Rahel BM, Gorgels AP (2016) A text message alert system for trained volunteers improves out-of-hospital cardiac arrest survival. *Resuscitation* 105:182–187
77. Stroop R, Kerner T, Strickmann B, Hensel M (2020) Mobile phone-based alerting of CPR-trained volunteers simultaneously with the ambulance can reduce the resuscitation-free interval and improve outcome after out-of-hospital cardiac arrest: a German, population-based cohort study. *Resuscitation* 147:57–64
78. Berglund E, Claesson A, Nordberg P et al (2018) A smartphone application for dispatch of lay responders to out-of-hospital cardiac arrests. *Resuscitation* 126:160–165
79. Zijlstra JA, Stieglis R, Riedijk F, Smeekes M, van der Worp WE, Koster RW (2014) Local lay rescuers with AEDs, alerted by text messages, contribute to early defibrillation in a Dutch out-of-hospital cardiac arrest dispatch system. *Resuscitation* 85:1444–1449
80. Derkenne C, Jost D, Thabouillot O et al (2020) Improving emergency call detection of out-of-hospital cardiac arrests in the greater Paris area: efficiency of a global system with a new method of detection. *Resuscitation* 146:34–42
81. Sarkisian L, Mickley H, Schakow H et al (2020) Global positioning system alerted volunteer first responders arrive before emergency medical services in more than four out of five emergency calls. *Resuscitation* 152:170–176
82. Stieglis R, Zijlstra JA, Riedijk F, Smeekes M, van der Worp WE, Koster RW (2020) AED and text message responders density in residential areas for rapid response in out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 150:170–177
83. Scquizzato T, Pallanch O, Belletti A et al (2020) Enhancing citizens response to out-of-hospital cardiac arrest: a systematic review of mobile-phone systems to alert citizens as first responders. *Resuscitation* 152:16–25
84. Andelius L, Malta Hansen C, Lippert FK et al (2020) Smartphone activation of citizen responders to facilitate defibrillation in out-of-hospital cardiac arrest. *J Am Coll Cardiol* 76:43–53
85. Empana JP, Blom MT, Böttiger BW et al (2018) Determinants of occurrence and survival after sudden cardiac arrest—a European perspective: the ESCAPE-NET project. *Resuscitation* 124:7–13
86. Oving I, Masterson S, Tjelmeland IBM et al (2019) First-response treatment after out-of-hospital cardiac arrest: a survey of current practices across 29 countries in Europe. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 27:112
87. Scquizzato T, Burkart R, Greif R et al (2020) Mobile phone systems to alert citizens as first responders and to locate automated external defibrillators: a European survey. *Resuscitation* 151:39–42
88. Metelmann C, Metelmann B, Kohlen D et al (2021) Smartphone-based dispatch of community first responders to out-of-hospital cardiac arrest – statements from an international consensus conference. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 29:29. <https://doi.org/10.1186/s13049-021-00841-1>
89. Beck B, Bray J, Cameron P et al (2018) Regional variation in the characteristics, incidence and outcomes of out-of-hospital cardiac arrest in Australia and New Zealand: results from the Aus-ROC Epistry. *Resuscitation* 126:49–57
90. Grasner JT, Whent J, Herlitz J et al (2020) Survival after out-of-hospital cardiac arrest in Europe—results of the EuReCa TWO study. *Resuscitation* 148:218–226
91. Lockey AS, Georgiou M (2013) Children can save lives. *Resuscitation* 84:399–400
92. Lockey AS (2014) European Restart a Heart Day. *Emerg Med Clin North Am* 31:696–697
93. Böttiger BW, Lockey A, Aickin R et al (2018) “All citizens of the world can save a life”—The World Restart a Heart (WRAH) initiative starts in 2018. *Resuscitation* 128:188–190
94. Böttiger BW, Lockey A (2018) World Restart a Heart initiative: all citizens of the world can save a life. *Lancet* 392:1305
95. Böttiger BW, Lockey A, Aickin R et al (2020) Up to 206 million people reached and over 5.4 million trained in cardiopulmonary resuscitation worldwide: the 2019 International Liaison Committee on resuscitation World Restart a Heart initiative. *J Am Heart Assoc* 9:e17230
96. Böttiger BW, Lockey A, Aickin R et al (2019) Over 675,000 lay people trained in cardiopulmonary resuscitation worldwide—The “World Restart a Heart (WRAH)” initiative 2018. *Resuscitation* 138:15–17
97. Cave DM, Aufderheide TP, Beeson J et al (2011) Importance and implementation of training in cardiopulmonary resuscitation and automated external defibrillation in schools: a science advisory from the American Heart Association. *Circulation* 123:691–706
98. Baldi E, Savastano S, Contri E et al (2020) Mandatory cardiopulmonary resuscitation competencies for undergraduate healthcare students in Europe: A European Resuscitation Council guidance note. *Eur J Anaesthesiol* 37:839–841
99. Böttiger BW, Semeraro F, Altemeyer KH et al (2017) Kids Save Lives: school children education in resuscitation for Europe and the world. *Eur J Anaesthesiol* 34:792–796
100. Böttiger BW, Van Aken H (2015) Kids save lives—training school children in cardiopulmonary resuscitation worldwide is now endorsed by the World Health Organization (WHO). *Resuscitation* 94:A5–7
101. Böttiger BW, Van Aken H (2015) Training children in cardiopulmonary resuscitation worldwide. *Lancet* 385:2353
102. Otero-Agra M, Varela-Casal C, Castillo-Pereiro N et al (2021) Can we train the chain of survival while playing? Validation of the tool «Rescube». *An Pediatr (Barc)* 94(4):213–222. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2020.07.009>
103. Böttiger BW, Lockey A, Georgiou M et al (2020) Kids Save Lives: ERC position statement on schoolteachers’ education and qualification in resuscitation. *Resuscitation* 151:87–90

104. Semeraro F, Frisoli A, Loconsole C et al (2017) Kids (learn how to) save lives in the school with the serious game Relive. *Resuscitation* 116:27–32
105. Böttiger BW, Bossaert LL, Castrén M et al (2016) Kids Save Lives—ERC position statement on school children education in CPR: “Hands that help—training children is training for life”. *Resuscitation* 105:A1–A3
106. De Buck E, Van Remoortel H, Dieltjens T et al (2015) Evidence-based educational pathway for the integration of first aid training in school curricula. *Resuscitation* 94:8–22
107. Nakagawa NK, Silva LM, Carvalho-Oliveira R et al (2019) Kids Save Lives Brazil: a successful pilot program to implement CPR at primary and high schools in Brazil resulting in a state law for a training CPR week. *Resuscitation* 140:81–83
108. Banfai B, Pandur A, Schiszler B, Radnai B, Banfai-Csonka H, Betlehem J (2018) ‘Kids save lives’ in Hungary – implementation, opportunities, programmes, opinions, barriers. *Resuscitation* 130:e3–e4
109. Semeraro F, Scapigliati A, De Marco S et al (2017) “Kids Save Lives” campaign in Italy: a picture from a nationwide survey on the web. *Resuscitation* 111:e5–e6
110. Pichel Lopez M, Martínez-Isasi S, Barcala-Furelos R et al (2018) A first step to teaching basic life support in schools: training the teachers. *An Pediatr (Barc)* 89:265–271
111. Boland LL, Formanek MB, Harkins KK et al (2017) Minnesota Heart Safe Communities: Are community-based initiatives increasing pre-ambulance CPR and AED use? *Resuscitation* 119:33–36
112. Nishiyama C, Kitamura T, Sakai T et al (2019) Community-wide dissemination of bystander cardiopulmonary resuscitation and automated external defibrillator use using a 45-minute chest compression-only cardiopulmonary resuscitation training. *JAHA* 8:e9436
113. Malta Hansen C, Kragholm K, Pearson DA et al (2015) Association of bystander and first-responder intervention with survival after out-of-hospital cardiac arrest in North Carolina, 2010–2013. *JAMA* 314:255–264
114. Uber A, Sadler RC, Chasse T, Reynolds JC (2018) Does non-targeted community CPR training increase bystander CPR frequency? *Prehosp Emerg Care* 22(6):753–761. <https://doi.org/10.1080/10903127.2018.1459978>
115. Tay PJM, Pek PP, Fan Q et al (2020) Effectiveness of a community based out-of-hospital cardiac arrest (OHCA) interventional bundle: results of a pilot study. *Resuscitation* 146:220–228
116. Becker L, Vath J, Eisenberg M, Meischke H (1999) The impact of television public service announcements on the rate of bystander CPR. *Prehosp Emerg Care* 3:353–356
117. Eisenberg M, Damon S, Mandel L et al (1995) CPR instruction by videotape: results of a community project. *Ann Emerg Med* 25:198–202
118. Bergamo C, Bui QM, Gonzales L, Hinchey P, Sasson C, Cabanas JG (2016) TAKE10: a community approach to teaching compression-only CPR to high-risk zip codes. *Resuscitation* 102:75–79
119. Ro YS, Song KJ, Shin SD et al (2019) Association between county-level cardiopulmonary resuscitation training and changes in survival outcomes after out-of-hospital cardiac arrest over 5 years: a multilevel analysis. *Resuscitation* 139:291–298
120. Ro YS, Shin SD, Song KJ et al (2016) Public awareness and self-efficacy of cardiopulmonary resuscitation in communities and outcomes of out-of-hospital cardiac arrest: a multi-level analysis. *Resuscitation* 102:17–24
121. Nielsen AM, Isbye DL, Lippert FK, Rasmussen LS (2014) Persisting effect of community approaches to resuscitation. *Resuscitation* 85:1450–1454
122. Del Rios M, Han J, Cano A et al (2018) Pay it forward: high school video-based instruction can disseminate CPR knowledge in priority neighborhoods. *West J Emerg Med* 19:423–429
123. Isbye DL, Rasmussen LS, Ringsted C, Lippert FK (2007) Disseminating cardiopulmonary resuscitation training by distributing 35,000 personal manikins among school children. *Circulation* 116:1380–1385
124. Cone DC, Burns K, Maciejewski K et al (2020) Sudden cardiac arrest survival in HEARTSafe communities. *Resuscitation* 146:13–18
125. Nielsen AM, Isbye DL, Lippert FK, Rasmussen LS (2012) Engaging a whole community in resuscitation. *Resuscitation* 83:1067–1071
126. Kim JY, Cho H, Park JH et al (2020) Application of the “plan-do-study-act” model to improve survival after cardiac arrest in Korea: a case study. *Prehosp Disaster Med* 35:46–54
127. Finn JC, Bhanji F, Lockey A et al (2015) Part 8: education, implementation, and teams: 2015 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 95:e203–e224
128. Stonington SD (2012) On ethical locations: the good death in Thailand, where ethics sit in places. *Soc Sci Med* 75:836–844
129. Berdowski J, Berg RA, Tijssen JG, Koster RW (2010) Global incidences of out-of-hospital cardiac arrest and survival rates: systematic review of 67 prospective studies. *Resuscitation* 81:1479–1487
130. World Health Organization (2009) Guidelines for trauma quality improvement. WHO, Geneva
131. Resuscitation Academy (2020) Webpräsenz. <https://www.resuscitationacademy.org>. Zugriffsdatum: 11. Okt. 2020
132. Clark JJ, Culley L, Eisenberg M, Henwood DK (1994) Accuracy of determining cardiac arrest by emergency medical dispatchers. *Ann Emerg Med* 23:1022–1026
133. Castrén M, Kuisma M, Serlachius J, Skrifvars M (2001) Do health care professionals report sudden cardiac arrest better than laymen? *Resuscitation* 51:265–268
134. Garza AG, Gratton MC, Chen JJ, Carlson B (2003) The accuracy of predicting cardiac arrest by emergency medical services dispatchers: the calling party effect. *Acad Emerg Med* 10:955–960
135. Hauff SR, Rea TD, Culley LL, Kerry F, Becker L, Eisenberg MS (2003) Factors impeding dispatcher-assisted telephone cardiopulmonary resuscitation. *Ann Emerg Med* 42:731–737
136. Kuisma M, Boyd J, Väyrynen T, Repo J, Nousila-Wiik M, Holmström P (2005) Emergency call processing and survival from out-of-hospital ventricular fibrillation. *Resuscitation* 67:89–93
137. Flynn J, Archer F, Morgans A (2006) Sensitivity and specificity of the medical priority dispatch system in detecting cardiac arrest emergency calls in Melbourne. *Prehosp Disaster Med* 21:72–76
138. Nurmi J, Pettilä V, Biber B, Kuisma M, Komulainen R, Castrén M (2006) Effect of protocol compliance to cardiac arrest identification by emergency medical dispatchers. *Resuscitation* 70:463–469
139. Böhm K, Rosenqvist M, Hollenberg J, Biber B, Engerström L, Svensson L (2007) Dispatcher-assisted telephone-guided cardiopulmonary resuscitation: an underused lifesaving system. *Eur J Emerg Med* 14:256–259
140. Ma MH, Lu TC, Ng JC et al (2007) Evaluation of emergency medical dispatch in out-of-hospital cardiac arrest in Taipei. *Resuscitation* 73:236–245
141. Vaillancourt C, Verma A, Trickett J et al (2007) Evaluating the effectiveness of dispatch-assisted cardiopulmonary resuscitation instructions. *Acad Emerg Med* 14:877–883
142. Cairns KJ, Hamilton AJ, Marshall AH, Moore MJ, Adgey AA, Kee F (2008) The obstacles to maximizing the impact of public access defibrillation: an assessment of the dispatch mechanism for out-of-hospital cardiac arrest. *Heart* 94:349–353
143. Berdowski J, Beekhuis F, Zwinderman AH, Tijssen JG, Koster RW (2009) Importance of the first link: description and recognition of an out-of-hospital cardiac arrest in an emergency call. *Circulation* 119:2096–2102
144. Böhm K, Stålhandske B, Rosenqvist M, Ulfvarson J, Hollenberg J, Svensson L (2009) Tuition of emergency medical dispatchers in the recognition of agonal respiration increases the use of telephone assisted CPR. *Resuscitation* 80:1025–1028
145. Roppolo LP, Westfall A, Pepe PE et al (2009) Dispatcher assessments for agonal breathing improve detection of cardiac arrest. *Resuscitation* 80:769–772
146. Dami F, Fuchs V, Praz L, Vader JP (2010) Introducing systematic dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation (telephone-CPR) in a non-Advanced Medical Priority Dispatch System (AMPDS): implementation process and costs. *Resuscitation* 81:848–852
147. Lewis M, Stubbs BA, Eisenberg MS (2013) Dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation: time to identify cardiac arrest and deliver chest compression instructions. *Circulation* 128:1522–1530
148. Hardeband C, Olasveengen TM, Lawrence R et al (2014) Comparison of Medical Priority Dispatch (MPD) and Criteria Based Dispatch (CBD) relating to cardiac arrest calls. *Resuscitation* 85:612–616
149. Stipulante S, Tubes R, El Fassi M et al (2014) Implementation of the ALERT algorithm, a new dispatcher-assisted telephone cardiopulmonary resuscitation protocol, in non-Advanced Medical Priority Dispatch System (AMPDS) Emergency Medical Services centres. *Resuscitation* 85:177–181
150. Tanaka Y, Nishi T, Takase K et al (2014) Survey of a protocol to increase appropriate implementation of dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 129:1751–1760
151. Travers S, Jost D, Gillard Y et al (2014) Out-of-hospital cardiac arrest phone detection: those who most need chest compressions are the most difficult to recognize. *Resuscitation* 85:1720–1725
152. Besnier E, Damm C, Jardel B, Veber B, Compere V, Dureuil B (2015) Dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation protocol improves diagnosis and resuscitation recommendations for out-of-hospital cardiac arrest. *Emerg Med Australas* 27:590–596
153. Dami F, Heymann E, Pasquier M, Fuchs V, Carron PN, Hugli O (2015) Time to identify cardiac arrest and provide dispatch-assisted cardio-pulmonary resuscitation in a criteria-based dispatch system. *Resuscitation* 97:27–33
154. Fukushima H, Imanishi M, Iwami T et al (2015) Abnormal breathing of sudden cardiac arrest victims described by laypersons and its association with emergency medical service dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation instruction. *Emerg Med Clin North Am* 32:314–317

155. Linderoth G, Hallas P, Lippert FK et al (2015) Challenges in out-of-hospital cardiac arrest—a study combining closed-circuit television (CCTV) and medical emergency calls. *Resuscitation* 96:317–322
156. Orpet R, Riesenberger R, Shin J, Subido C, Marku E, Rea T (2015) Increasing bystander CPR: potential of a one question telecommunicator identification algorithm. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 23:39
157. Vaillancourt C, Charette M, Kasaboski A et al (2015) Cardiac arrest diagnostic accuracy of 9-1-1 dispatchers: a prospective multi-center study. *Resuscitation* 90:116–120
158. Fukushima H, Panczyk M, Spaite DW et al (2016) Barriers to telephone cardiopulmonary resuscitation in public and residential locations. *Resuscitation* 109:116–120
159. Hardeland C, Sunde K, Ramsdal H et al (2016) Factors impacting upon timely and adequate allocation of prehospital medical assistance and resources to cardiac arrest patients. *Resuscitation* 109:56–63
160. Ho AF, Sim ZJ, Shahidah N et al (2016) Barriers to dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation in Singapore. *Resuscitation* 105:149–155
161. Møller TP, Andréll C, Viereck S, Todorova L, Friberg H, Lippert FK (2016) Recognition of out-of-hospital cardiac arrest by medical dispatchers in emergency medical dispatch centres in two countries. *Resuscitation* 109:1–8
162. Plodr M, Truhlar A, Krencikova J et al (2016) Effect of introduction of a standardized protocol in dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 106:18–23
163. Deakin CD, England S, Diffey D (2017) Ambulance telephone triage using 'NHS Pathways' to identify adult cardiac arrest. *Heart* 103:738–744
164. Fukushima H, Kawai Y, Asai H et al (2017) Performance review of regional emergency medical service pre-arrival cardiopulmonary resuscitation with or without dispatcher instruction: a population-based observational study. *Acute Med Surg* 4:293–299
165. Hardeland C, Skåre C, Kramer-Johansen J et al (2017) Targeted simulation and education to improve cardiac arrest recognition and telephone assisted CPR in an emergency medical communication centre. *Resuscitation* 114:21–26
166. Huang CH, Fan HJ, Chien CY et al (2017) Validation of a dispatch protocol with continuous quality control for cardiac arrest: a before-and-after study at a city fire department-based dispatch center. *J Emerg Med* 53:697–707
167. Nuno T, Bobrow BJ, Rogge-Miller KA et al (2017) Disparities in telephone CPR access and timing during out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 115:11–16
168. Lee SY, Ro YS, Shin SD et al (2018) Recognition of out-of-hospital cardiac arrest during emergency calls and public awareness of cardiopulmonary resuscitation in communities: a multilevel analysis. *Resuscitation* 128:106–111
169. Syvaoja S, Salo A, Usaro A, Jantti H, Kuisma M (2018) Witnessed out-of-hospital cardiac arrest-effects of emergency dispatch recognition. *Acta Anaesthesiol Scand* 62:558–567
170. Blomberg SN, Folke F, Ersboll AK et al (2019) Machine learning as a supportive tool to recognize cardiac arrest in emergency calls. *Resuscitation* 138:322–329
171. Chien CY, Chien WC, Tsai LH et al (2019) Impact of the caller's emotional state and cooperation on out-of-hospital cardiac arrest recognition and dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation. *Emerg Med Clin North Am* 36:595–600
172. Green JD, Ewings S, Wortham R, Walsh B (2019) Accuracy of nature of call screening tool in identifying patients requiring treatment for out of hospital cardiac arrest. *Emerg Med Clin North Am* 36:203–207
173. Saberian P, Tavakoli N, Ramim T, Hasani-Sharamin P, Shams E, Baratloo A (2019) The role of pre-hospital telecardiology in reducing the coronary reperfusion time; a brief report. *Arch Acad Emerg Med* 7:e15
174. Culley LL, Clark JJ, Eisenberg MS, Larsen MP (1991) Dispatcher-assisted telephone CPR: common delays and time standards for delivery. *Ann Emerg Med* 20:362–366
175. Song KJ, Shin SD, Park CB et al (2014) Dispatcher-assisted bystander cardiopulmonary resuscitation in a metropolitan city: a before-after population-based study. *Resuscitation* 85:34–41
176. Harjanto S, Na MX, Hao Y et al (2016) A before-after interventional trial of dispatcher-assisted cardio-pulmonary resuscitation for out-of-hospital cardiac arrests in Singapore. *Resuscitation* 102:85–93
177. Bång A, Biber B, Isaksson L, Lindqvist J, Herlitz J (1999) Evaluation of dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation. *Eur J Emerg Med* 6:175–183
178. Akahane M, Ogawa T, Tanabe S et al (2012) Impact of telephone dispatcher assistance on the outcomes of pediatric out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care Med* 40:1410–1416
179. Japanese Circulation Society Resuscitation Science Study Group (2013) Chest-compression-only bystander cardiopulmonary resuscitation in the 30:2 compression-to-ventilation ratio era. Nationwide observational study. *Circ J* 77:2742–2750
180. Goto Y, Maeda T, Goto Y (2014) Impact of dispatcher-assisted bystander cardiopulmonary resuscitation on neurological outcomes in children with out-of-hospital cardiac arrests: a prospective, nationwide, population-based cohort study. *J Am Heart Assoc* 3:e499
181. Hiltunen PV, Silfvast TO, Jantti TH, Kuisma MJ, Kurola JO (2015) Emergency dispatch process and patient outcome in bystander-witnessed out-of-hospital cardiac arrest with a shockable rhythm. *Eur J Emerg Med* 22:266–272
182. Takahashi H, Sagisaka R, Natsume Y, Tanaka S, Takyu H, Tanaka H (2018) Does dispatcher-assisted CPR generate the same outcomes as spontaneously delivered bystander CPR in Japan? *Am J Emerg Med* 36:384–391
183. Olasveengen TM, de Caen AR, Mancini ME et al (2017) 2017 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations summary. *Resuscitation* 121:201–214
184. Hallstrom A, Cobb L, Johnson E, Copass M (2000) Cardiopulmonary resuscitation by chest compression alone or with mouth-to-mouth ventilation. *N Engl J Med* 342:1546–1553
185. Rea TD, Fahrenbruch C, Culley L et al (2010) CPR with chest compressions alone or with rescue breathing. *N Engl J Med* 363:423–433
186. Svensson L, Bohm K, Castrén M et al (2010) Compression-only CPR or standard CPR in out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 363:434–442
187. Maharaj R, Raffaele I, Wendon J (2015) Rapid response systems: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care* 19:254
188. Winters BD, Weaver SJ, Pfoh ER, Yang T, Pham JC, Dy SM (2013) Rapid-response systems as a patient safety strategy: a systematic review. *Ann Intern Med* 158:417–425
189. Aitken LM, Chaboyer W, Vaux A et al (2015) Effect of a 2-tier rapid response system on patient outcome and staff satisfaction. *Aust Crit Care* 28:107–114 (quiz 115)
190. Al-Qahtani S, Al-Dorzi HM, Tamim HM et al (2013) Impact of an intensivist-led multidisciplinary extended rapid response team on hospital-wide cardiopulmonary arrests and mortality. *Crit Care Med* 41:506–517
191. Al-Rajhi A, Mardini L, Jayaraman D (2016) The impact of implementation of an ICU consult service on hospital-wide outcomes and ICU-specific outcomes. *J Intensive Care Med* 31:478–484
192. Avis E, Grant L, Reilly E, Foy M (2016) Rapid response teams decreasing intubation and code blue rates outside the intensive care unit. *Crit Care Nurse* 36:86–90
193. Baxter AD, Cardinal P, Hooper J, Patel R (2008) Medical emergency teams at the Ottawa Hospital: the first two years. *Can J Anaesth* 55:223–231
194. Beitler JR, Link N, Bails DB, Hurdle K, Chong DH (2011) Reduction in hospital-wide mortality after implementation of a rapid response team: a long-term cohort study. *Crit Care* 15:R269
195. Bellomo R, Goldsmith D, Uchino S et al (2003) A prospective before-and-after trial of a medical emergency team. *Med J Aust* 179:283–287
196. Benson L, Mitchell C, Link M, Carlson G, Fisher J (2008) Using an advanced practice nursing model for a rapid response team. *Jt Comm J Qual Patient Saf* 34:743–747
197. Bristow PJ, Hillman KM, Chey T et al (2000) Rates of in-hospital arrests, deaths and intensive care admissions: the effect of a medical emergency team. *Med J Aust* 173:236–240
198. Buist MD, Moore GE, Bernard SA, Waxman BP, Anderson JN, Nguyen TV (2002) Effects of a medical emergency team on reduction of incidence of and mortality from unexpected cardiac arrests in hospital: preliminary study. *BMJ* 324:387–390
199. Chan PS, Khalid A, Longmore LS, Berg RA, Kosiborod M, Spertus JA (2008) Hospital-wide code rates and mortality before and after implementation of a rapid response team. *JAMA* 300:2506–2513
200. Chan ML, Spertus JA, Tang F, Jayaram N, Chan PS (2016) Missed opportunities in use of medical emergency teams prior to in-hospital cardiac arrest. *Am Heart J* 177:87–95
201. Chen J, Ou L, Hillman K et al (2014) The impact of implementing a rapid response system: a comparison of cardiopulmonary arrests and mortality among four teaching hospitals in Australia. *Resuscitation* 85:1275–1281
202. Chen J, Ou L, Flabouris A, Hillman K, Bellomo R, Parr M (2016) Impact of a standardized rapid response system on outcomes in a large healthcare jurisdiction. *Resuscitation* 107:47–56
203. Dacey MJ, Mirza ER, Wilcox V et al (2007) The effect of a rapid response team on major clinical outcome measures in a community hospital. *Crit Care Med* 35:2076–2082
204. DeVita MA, Braithwaite RS, Mahidhara R, Stuart S, Foraida M, Simmons RL (2004) Use of medical emergency team responses to reduce hospital cardiopulmonary arrests. *Qual Saf Health Care* 13:251–254
205. Etter R, Takala J, Merz TM (2014) Intensive care without walls—introduction of a Medical Emergency Team system in a Swiss tertiary care centre. *Swiss Med Wkly* 144:w14027

206. Hanson CC, Randolph GD, Erickson JA et al (2010) A reduction in cardiac arrests and duration of clinical instability after implementation of a paediatric rapid response system. *Postgrad Med J* 86:314–318
207. Hayani O, Al-Beihany A, Zarychanski R et al (2011) Impact of critical care outreach on hematopoietic stem cell transplant recipients: a cohort study. *Bone Marrow Transplant* 46:1138–1144
208. Herod R, Frost SA, Parr M, Hillman K, Aneman A (2014) Long term trends in medical emergency team activations and outcomes. *Resuscitation* 85:1083–1087
209. Howell MD, Ngo L, Folcarelli P et al (2012) Sustained effectiveness of a primary-team-based rapid response system. *Crit Care Med* 40:2562–2568
210. Jones D, Bellomo R, Bates S et al (2005) Long term effect of a medical emergency team on cardiac arrests in a teaching hospital. *Crit Care* 9:R808–R815
211. Jones D, George C, Hart GK, Bellomo R, Martin J (2008) Introduction of medical emergency teams in Australia and New Zealand: a multi-centre study. *Crit Care* 12:R46
212. Jones S, Mullally M, Ingleby S, Buist M, Bailey M, Eddleston JM (2011) Bedside electronic capture of clinical observations and automated clinical alerts to improve compliance with an Early Warning Score protocol. *Crit Care Resusc* 13:83–88
213. Joshi K, Campbell V, Landy M, Anstey CM, Gooch R (2017) The effect of Rapid Response System revision on standard and specific intensive care unit outcomes in a regional hospital. *Anaesth Intensive Care* 45:369–374
214. Jung B, Daurat A, De Jong A et al (2016) Rapid response team and hospital mortality in hospitalized patients. *Intensive Care Med* 42:494–504
215. Kenward G, Castle N, Hodgetts T, Shaikh L (2004) Evaluation of a medical emergency team one year after implementation. *Resuscitation* 61:257–263
216. Kim Y, Lee DS, Min H et al (2017) Effectiveness analysis of a part-time rapid response system during operation versus nonoperation. *Crit Care Med* 45:e592–e599
217. Kollef MH, Heard K, Chen Y, Lu C, Martin N, Bailey T (2017) Mortality and length of stay trends following implementation of a rapid response system and real-time automated clinical deterioration alerts. *Am J Med Qual* 32:12–18
218. Konrad D, Jaderling G, Bell M, Granath F, Ekbohm A, Martling CR (2010) Reducing in-hospital cardiac arrests and hospital mortality by introducing a medical emergency team. *Intensive Care Med* 36:100–106
219. Kwak HJ, Yun I, Kim SH et al (2014) The extended rapid response system: 1-year experience in a university hospital. *J Korean Med Sci* 29:423–430
220. Laurens N, Dwyer T (2011) The impact of medical emergency teams on ICU admission rates, cardiopulmonary arrests and mortality in a regional hospital. *Resuscitation* 82:707–712
221. Lighthall GK, Parast LM, Rapoport L, Wagner TH (2010) Introduction of a rapid response system at a United States veterans affairs hospital reduced cardiac arrests. *Anesth Analg* 111:679–686
222. Lim SY, Park SY, Park HK et al (2011) Early impact of medical emergency team implementation in a country with limited medical resources: a before-and-after study. *J Crit Care* 26:373–378
223. Ludikhuijze J, Brunsveld-Reinders AH, Dijkgraaf MG et al (2015) Outcomes associated with the nationwide introduction of rapid response systems in the Netherlands. *Crit Care Med* 43:2544–2551
224. Mathukia C, Fan W, Vadyak K, Biege C, Krishnamurthy M (2015) Modified early warning system improves patient safety and clinical outcomes in an academic community hospital. *J Community Hosp Intern Med Perspect* 5:26716
225. Moldenhauer K, Sabel A, Chu ES, Mehler PS (2009) Clinical triggers: an alternative to a rapid response team. *Jt Comm J Qual Patient Saf* 35:164–174
226. Moon A, Cosgrove JF, Lea D, Fairs A, Cressey DM (2011) An eight year audit before and after the introduction of modified early warning score (MEWS) charts, of patients admitted to a tertiary referral intensive care unit after CPR. *Resuscitation* 82:150–154
227. Nishijima I, Oyadomari S, Maedomari S et al (2016) Use of a modified early warning score system to reduce the rate of in-hospital cardiac arrest. *J Intensive Care* 4:12
228. Offner PJ, Heit J, Roberts R (2007) Implementation of a rapid response team decreases cardiac arrest outside of the intensive care unit. *J Trauma* 62:1223–1227 (discussion 1227–1228)
229. Patel MS, Jones MA, Jiggins M, Williams SC (2011) Does the use of a “track and trigger” warning system reduce mortality in trauma patients? *Injury* 42:1455–1459
230. Rothberg MB, Belforti R, Fitzgerald J, Friderici J, Keyes M (2012) Four years’ experience with an hospitalist-led medical emergency team: an interrupted time series. *J Hosp Med* 7:98–103
231. Rothschild JM, Woolf S, Finn KM et al (2008) A controlled trial of a rapid response system in an academic medical center. *Jt Comm J Qual Patient Saf* 34:417–425 (365)
232. Rothschild JM, Gandara E, Woolf S, Williams DH, Bates DW (2010) Single-parameter early warning criteria to predict life-threatening adverse events. *J Patient Saf* 6:97–101
233. Salvatierra G, Bindler RC, Corbett C, Roll J, Daratha KB (2014) Rapid response team implementation and in-hospital mortality. *Crit Care Med* 42:2001–2006
234. Santamaria J, Tobin A, Holmes J (2010) Changing cardiac arrest and hospital mortality rates through a medical emergency team takes time and constant review. *Crit Care Med* 38:445–450
235. Sarani B, Palilonis E, Sonnad S et al (2011) Clinical emergencies and outcomes in patients admitted to a surgical versus medical service. *Resuscitation* 82:415–418
236. Scherr K, Wilson DM, Wagner J, Haughian M (2012) Evaluating a new rapid response team: NP-led versus intensivist-led comparisons. *AACN Adv Crit Care* 23:32–42
237. Shah SK, Cardenas VJ Jr, Kuo YF, Sharma G (2011) Rapid response team in an academic institution: Does it make a difference? *Chest* 139:1361–1367
238. Simmes FM, Schoonhoven L, Mintjes J, Fikkers BG, van der Hoeven JG (2012) Incidence of cardiac arrests and unexpected deaths in surgical patients before and after implementation of a rapid response system. *Ann Intensive Care* 2:20
239. Snyder CW, Patel RD, Roberson EP, Hawn MT (2009) Unplanned intubation after surgery: risk factors, prognosis, and medical emergency team effects. *Am Surg* 75:834–838
240. Subbe CP, Davies RG, Williams E, Rutherford P, Gemmell L (2003) Effect of introducing the Modified Early Warning score on clinical outcomes, cardio-pulmonary arrests and intensive care utilisation in acute medical admissions. *Anaesthesia* 58:797–802
241. Tirkkonen J, Huhtala H, Hoppu S (2018) In-hospital cardiac arrest after a rapid response team review: a matched case-control study. *Resuscitation* 126:98–103
242. Vazquez R, Gheorghie C, Grigoriyan A, Palvinskaya T, Amoateng-Adjepong Y, Manthous CA (2009) Enhanced end-of-life care associated with deploying a rapid response team: a pilot study. *J Hosp Med* 4:449–452
243. Oh TK, Kim S, Lee DS et al (2018) A rapid response system reduces the incidence of in-hospital postoperative cardiopulmonary arrest: a retrospective study. *Can J Anaesth* 65:1303–1313
244. Priestley G, Watson W, Rashidian A et al (2004) Introducing critical care outreach: a ward-randomised trial of phased introduction in a general hospital. *Intensive Care Med* 30:1398–1404
245. Hillman K, Chen J, Cretikos M et al (2005) Introduction of the medical emergency team (MET) system: a cluster-randomised controlled trial. *Lancet* 365:2091–2097
246. Sinha SS, Chen LM, Nallamothu BK (2014) Survival by the fittest: hospital-level variation in quality of resuscitation care. *J Am Heart Assoc* 3:e768
247. Carr BG, Goyal M, Band RA et al (2009) A national analysis of the relationship between hospital factors and post-cardiac arrest mortality. *Intensive Care Med* 35:505–511
248. Callaway CW, Soar J, Aibiki M et al (2015) Part 4: advanced life support: 2015 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Circulation* 132:S84–S145
249. Soar J, Callaway CW, Aibiki M et al (2015) Part 4: advanced life support: 2015 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 95:e71–e120
250. Yeung J, Matsuyama T, Bray J, Reynolds J, Skrifvars MB (2019) Does care at a cardiac arrest center improve outcome after out-of-hospital cardiac arrest?—A systematic review. *Resuscitation* 137:102–115
251. Matsuyama T, Kiyohara K, Kitamura T et al (2017) Hospital characteristics and favourable neurological outcome among patients with out-of-hospital cardiac arrest in Osaka, Japan. *Resuscitation* 110:146–153
252. Tagami T, Hirata K, Takeshige T et al (2012) Implementation of the fifth link of the chain of survival concept for out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 126:589–597
253. Kragholm K, Malta Hansen C, Dupre ME et al (2017) Direct transport to a percutaneous cardiac intervention center and outcomes in patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 10:e3414
254. Spaite DW, Bobrow BJ, Stolz U et al (2014) Statewide regionalization of postarrest care for out-of-hospital cardiac arrest: association with survival and neurologic outcome. *Ann Emerg Med* 64:496–506.e1
255. Couper K, Kimani PK, Gale CP et al (2018) Patient, health service factors and variation in mortality following resuscitated out-of-hospital cardiac arrest in acute coronary syndrome: Analysis of the Myocardial Ischaemia National Audit Project. *Resuscitation* 124:49–57
256. Søholm H, Kjaergaard J, Bro-Jeppesen J et al (2015) Prognostic implications of level-of-care at tertiary heart centers compared with other hospitals after resuscitation from out-of-hospital cardiac arrest. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 8:268–276

257. Elmer J, Callaway CW, Chang CH et al (2019) Long-term outcomes of out-of-hospital cardiac arrest care at regionalized centers. *Ann Emerg Med* 73:29–39
258. Elmer J, Rittenberger JC, Coppler PJ et al (2016) Long-term survival benefit from treatment at a specialty center after cardiac arrest. *Resuscitation* 108:48–53
259. Brooks SC, Scales DC, Pinto R et al (2016) The postcardiac arrest consult team: impact on hospital care processes for out-of-hospital cardiac arrest patients. *Crit Care Med* 44:2037–2044
260. Andrew E, Nehme Z, Wolfe R, Bernard S, Smith K (2017) Long-term survival following out-of-hospital cardiac arrest. *Heart* 103:1104–1110
261. Mumma BE, Diercks DB, Wilson MD, Holmes JF (2015) Association between treatment at an ST-segment elevation myocardial infarction center and neurologic recovery after out-of-hospital cardiac arrest. *Am Heart J* 170:516–523
262. Tranberg T, Lippert FK, Christensen EF et al (2017) Distance to invasive heart centre, performance of acute coronary angiography, and angioplasty and associated outcome in out-of-hospital cardiac arrest: a nationwide study. *Eur Heart J* 38:1645–1652
263. Cournoyer A, Notebaert E, de Montigny L et al (2018) Impact of the direct transfer to percutaneous coronary intervention-capable hospitals on survival to hospital discharge for patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 125:28–33
264. Lick CJ, Aufderheide TP, Niskanen RA et al (2011) TakeHeart America: a comprehensive, community-wide, systems-based approach to the treatment of cardiac arrest. *Crit Care Med* 39:26–33
265. Stub D, Smith K, Bray JE, Bernard S, Duffy SJ, Kaye DM (2011) Hospital characteristics are associated with patient outcomes following out-of-hospital cardiac arrest. *Heart* 97:1489–1494
266. Chocron R, Bougouin W, Beganton F et al (2017) Are characteristics of hospitals associated with outcome after cardiac arrest? Insights from the Great Paris registry. *Resuscitation* 118:63–69
267. Lai CY, Lin FH, Chu H et al (2018) Survival factors of hospitalized out-of-hospital cardiac arrest patients in Taiwan: a retrospective study. *PLoS ONE* 13:e191954
268. Søholm H, Wachtell K, Nielsen SL et al (2013) Tertiary centres have improved survival compared to other hospitals in the Copenhagen area after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 84:162–167
269. McKenzie N, Williams TA, Ho KM et al (2018) Direct transport to a PCI-capable hospital is associated with improved survival after adult out-of-hospital cardiac arrest of medical aetiology. *Resuscitation* 128:76–82
270. Seiner J, Polasek R, Lejsek J, Strycek M, Karasek J (2018) Cardiac arrest center—one-year experience of the Regional Hospital Liberec. *Cor Vasa* 60:e234–e238
271. Harnod D, Ma MHM, Chang WH, Chang RE, Chang CH (2013) Mortality factors in out-of-hospital cardiac arrest patients: a nationwide population-based study in Taiwan. *Int J Gerontol* 7:216–220
272. Patterson T, Perkins GD, Joseph J et al (2017) A randomised trial of expedited transfer to a cardiac arrest centre for non-ST elevation ventricular fibrillation out-of-hospital cardiac arrest: the ARREST pilot randomised trial. *Resuscitation* 115:185–191
273. Sinning C, Ahrens I, Cariou A et al (2020) The cardiac arrest centre for the treatment of sudden cardiac arrest due to presumed cardiac cause – aims, function and structure: Position paper of the Association for Acute Cardiovascular Care of the European Society of Cardiology (AVCV), European Association of Percutaneous Coronary Interventions (EAPCI), European Heart Rhythm Association (EHRA), European Resuscitation Council (ERC), European Society for Emergency Medicine (EUSEM) and European Society of Intensive Care Medicine (ESICM). *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care* 9(4_suppl):S193–S202. <https://doi.org/10.1177/2048872620963492>

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:386–405
<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00885-x>
Angenommen: 19. April 2021
Online publiziert: 2. Juni 2021
© European Resuscitation Council (ERC),
German Resuscitation Council (GRC), Austrian
Resuscitation Council (ARC) 2021



Theresa M. Olasveengen¹ · Federico Semeraro² · Giuseppe Ristagno^{3,4} ·
Maaret Castrén⁵ · Anthony Handley⁶ · Artem Kuzovlev⁷ · Koenraad G. Monsieurs⁸ ·
Violetta Raffay⁹ · Michael Smyth^{10,11} · Jasmeet Soar¹² ·
Hildigunnur Svavarsdóttir^{13,14} · Gavin D. Perkins^{10,15}

¹ Department of Anesthesiology, Oslo University Hospital and Institute of Clinical Medicine, University of Oslo, Oslo, Norwegen; ² Department of Anaesthesia, Intensive Care and Emergency Medical Services, Maggiore Hospital, Bologna, Italien; ³ Department of Anesthesiology, Intensive Care and Emergency, Fondazione IRCCS Ca' Granda, Ospedale Maggiore Policlinico, Mailand, Italien; ⁴ Department of Pathophysiology and Transplantation, University of Milan, Mailand, Italien; ⁵ Emergency Medicine, Helsinki University and Department of Emergency Medicine and Services, Helsinki University Hospital, Helsinki, Finnland; ⁶ Cambridge, Großbritannien; ⁷ Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitation, V.A. Negovsky Research Institute of General Reanimatology, Moskau, Russland; ⁸ Department of Emergency Medicine, Antwerp University Hospital and University of Antwerp, Antwerpen, Belgien; ⁹ Department of Medicine, School of Medicine, European University Cyprus, Nikosia, Zypern; ¹⁰ Warwick Clinical Trials Unit, Warwick Medical School, University of Warwick, Coventry, Großbritannien; ¹¹ West Midlands Ambulance Service, Brierly Hill, Großbritannien; ¹² Southmead Hospital, North Bristol NHS Trust, Bristol, Großbritannien; ¹³ Akureyri Hospital, Akureyri, Island; ¹⁴ Institute of Health Science Research, University of Akureyri, Akureyri, Island; ¹⁵ University Hospitals Birmingham, Birmingham, Großbritannien

Basismaßnahmen zur Wiederbelebung Erwachsener (Basic Life Support)

Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Einleitung und Umfang

Diese Leitlinie basiert auf dem International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) Consensus on Science and Treatment Recommendations (CoSTR) 2020 für Basic Life Support [1]. Für diese ERC-Leitlinien wurden die ILCOR-Empfehlungen ergänzt, durch eine fokussierte Literaturüberprüfung der Autoren der Leitlinien zu Themen, die im ILCOR CoSTR 2020 nicht berücksichtigt wurden. Wo notwendig, wurde zusätzlicher

Expertenkonsens durch die Leitlinienverfasser ergänzt.

Die BLS-Leitlinienverfasser waren sich bewusst, dass jede Übereinstimmung mit bisherigen Leitlinien zu mehr Vertrauen und Ermutigung bei den Helfern führt, bei einem Kreislaufstillstand tätig zu werden. Das Nichterkennen eines Kreislaufstillstands verhindert, dass mehr Leben gerettet werden. In den ILCOR CoSTR [2] wurde extra die Formulierung gewählt, mit der Wiederbelebung sei zu beginnen, wenn eine Person „bewußtlos ist und nicht normal atmet“. Dies wurde ebenfalls in die Leitlinien für BLS 2021 übernommen. Wer Wiederbelebung lernt oder anwendet, soll sich daran erinnern, dass eine Schnappatmung Zeichen eines Kreislaufstillstands sein kann. Die Seitenlage wird im Kapitel „Erste Hilfe“ der ERC-Leitlinien 2021 beschrieben [3]. Dort wird betont, dass sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern nur

solche Personen in die Seitenlage gebracht werden sollen, bei denen eine Bewusstseinsstrübung aus innerer Ursache vorliegt. Die Seitenlage soll nur angewendet werden, wenn KEINE Wiederbelebung (CPR) notwendig ist. Die Atmung eines Patienten in Seitenlage muss lückenlos überwacht werden. Jeder Patient, dessen Atmung aussetzt oder auffällig wird, muss in die Rückenlage gebracht werden und es muss sofort mit einer Herzdruckmassage begonnen werden. Zum Schluss wurden Maßnahmen bei der Verlegung der Atemwege durch Fremdkörper umfassend aktualisiert. Der Behandlungsalgorithmus blieb unverändert.

Der ERC hat darüber hinaus im Jahr 2020 auf Basis der ILCOR-Empfehlungen und einer systematischen Literaturdurchsicht [4, 5] einen Leitfaden erstellt – explizit als Hilfestellung bei Kreislaufstillständen von Personen mit einer Erkrankung mit dem Coronavirus

Die Leitlinien wurden mit dem generischen Maskulin übersetzt. Bitte beachten Sie, dass alle Personenbezeichnungen gleichermaßen für beide Geschlechter gelten.

Die Übersetzung beruht auf der Version vom 29.01.2021. Bis zur Publikation des englischen Originals in *Resuscitation* wurden in manchen Kapiteln Literaturstellen korrigiert oder andere Änderungen vorgenommen, die den Sinn nicht wesentlich ändern.



Abb. 1 ▲ BLS Zusammenfassung

(COVID-19) [6]. Unser Wissen über die optimale Behandlung von COVID-Patienten, das Risiko einer Virusübertragung und die Infektionsgefahr für Hilfeleistende bei einer Wiederbelebung ist unvollständig und im Fluss. Daher wird empfohlen, was Behandlungen und Vorsichtsmaßnahmen angeht, sich an den jeweils aktuellen nationalen und internationalen Regeln und an lokalen Bestimmungen zu orientieren.

Die Leitlinien wurden von den BLS(Basic Life Support)-Autoren entworfen und konsentiert. Die Methodik der Leitlinienerstellung wird in der Zu-

sammenfassung dargestellt [7]. Die Leitlinien wurden im Oktober 2020 online zur Diskussion gestellt. Rückmeldungen wurden von den Leitlinienautoren gesichtet und falls angebracht eingearbeitet. Die ERC-Generalversammlung hat am 10. Dezember 2020 die Leitlinie verabschiedet.

Kernaussagen dieses Kapitels der Leitlinien finden sich in der [Abb. 1](#).

Präzise Aussagen für die Praxis

Der BLS-Algorithmus wird in der [Abb. 2](#) dargestellt, Handlungsanwei-

sungen Schritt für Schritt zeigt die [Abb. 3](#).

Erkennen eines Kreislaufstillstands

- Beginnen Sie mit der Wiederbelebung bei jeder Person, die nicht auf Ansprache reagiert und keine normale Atmung hat.
- Schnappatmung soll als Zeichen eines Kreislaufstillstands gewertet werden.
- Zu Beginn eines Kreislaufstillstands können kurze Zeit krampfartige Bewegungen auftreten. Reagiert die Person im Anschluss daran nicht und hat sie keine normale Atmung, beginnen Sie mit der Wiederbelebung.

Alarmieren des Rettungsdiensts

- Wenn eine Person nicht reagiert und keine normale Atmung hat, alarmieren Sie sofort den Rettungsdienst.
- Notfallzeugen, die über ein Mobiltelefon verfügen, sollen die Notrufnummer wählen, die Lautschaltung aktivieren und sofort mit der vom Leitstellendisponenten unterstützten/assistierten Wiederbelebung beginnen.
- Ist ein Notfallzeuge allein und muss den Patienten für den Notruf verlassen, soll er erst den Notruf tätigen und dann mit der Wiederbelebung beginnen.

Hochwertige Herzdruckmassage

- So früh wie möglich mit den Thoraxkompressionen starten.
- Druckpunkt: untere Hälfte des Brustbeins (Mitte der Brust).
- Drucktiefe mindestens 5, maximal 6 cm.
- Frequenz 100–120 pro Minute mit so wenig Unterbrechungen wie möglich.
- Nicht mit dem eigenen Körpergewicht auf dem Brustkorb des Patienten verbleiben, der Brustkorb muss sich nach Kompression wieder ausdehnen.
- Herzdruckmassage, wann immer möglich, auf harter Unterlage durchführen.

Atemspende

- Beginnend mit 30 Thoraxkompressionen im Wechsel mit 2 Beatmungen.
- Wenn Sie nicht in der Lage sind zu beatmen, führen Sie kontinuierliche Thoraxkompressionen durch.

AED Automatisierte externe Defibrillatoren

Wie finde ich einen AED?

- Standorte von AED sollen eindeutig gekennzeichnet sein.

Wann und wie setze ich einen AED ein?

- Sobald ein AED am Ort des Notfalls verfügbar ist, schalten Sie das Gerät ein.
- Kleben Sie die Elektroden auf die entblößte Brust des Patienten, so wie es auf dem Gerät oder den Elektroden angezeigt ist.
- Ist ein zweiter Helfer anwesend, soll ein Helfer während des Aufklebens der Elektroden kontinuierlich Thoraxkompressionen durchführen.
- Folgen Sie den Sprach-(und oder Bild-)Anweisungen des Geräts.
- Stellen Sie sicher, dass niemand den Patienten während der Herzrhythmusanalyse durch das Gerät berührt.
- Überzeugen Sie sich, dass während der Schockabgabe niemand den Patienten berührt. Betätigen Sie den Knopf, der den Schock auslöst, und setzen Sie anschließend die Wiederbelebung mit 30 Thoraxkompressionen fort.
- Ist kein Schock angezeigt, setzen Sie unmittelbar die Wiederbelebung mit 30 Thoraxkompressionen fort.
- Folgen Sie auf jeden Fall den Anweisungen des AED, in der Regel sind 2 min Wiederbelebung angezeigt, bevor der AED eine weitere Pause zur Rhythmusanalyse einfordert.

Thoraxkompressionen vor Defibrillation

- Unterbrechen Sie die Wiederbelebungsmaßnahmen nicht, bis der AED (oder ein anderer Defibrillator) vor Ort eingeschaltet und am Patienten angelegt ist.

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:386–405 <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00885-x>
© European Resuscitation Council (ERC), German Resuscitation Council (GRC), Austrian Resuscitation Council (ARC) 2021

T. M. Olasveengen · F. Semeraro · G. Ristagno · M. Castren · A. Handley · A. Kuzovlev · K. G. Monsieurs · V. Raffay · M. Smyth · J. Soar · H. Svavarsdóttir · G. D. Perkins

Basismaßnahmen zur Wiederbelebung Erwachsener (Basic Life Support). Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Zusammenfassung

Der Europäische Rat für Wiederbelebung hat diese Leitlinie – Basismaßnahmen zur Wiederbelebung – auf Grundlage des International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations 2020 erstellt. Die behandelten Themen umfassen: Erkennen eines Herz-Kreislauf-Stillstands, Alarmierung des Rettungsdienstes, Herzdruckmassage (Thoraxkompressionen), Beatmung/Atemspende, automatisierte externe Defibrillation (AED), Qualitätsmessung

der Wiederbelebung, neue Technologien, Sicherheit und Verlegung der Atemwege durch Fremdkörper.

Schlüsselwörter

Leitlinien · Basismaßnahmen zur Wiederbelebung · Kardiopulmonale Reanimation · Thoraxkompression · Beatmung · Atemspende · Automatisierter externer Defibrillator · Rettungsdienst · Leitstellendisposition

Basic life support. European Resuscitation Council Guidelines 2021

Abstract

The European Resuscitation Council has produced these basic life support guidelines, which are based on the 2020 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations. The topics covered include cardiac arrest recognition, alerting emergency services, chest compressions, rescue breaths, automated external defibrillation (AED), cardiopulmonary resuscitation (CPR) quality

measurement, new technologies, safety, and foreign body airway obstruction.

Keywords

Guidelines · Basic life support · Cardiopulmonary resuscitation · Chest compression · Ventilation · Rescue breaths · Automated external defibrillator · Emergency medical services · Emergency medical dispatch

- Wenn der AED einsatzbereit ist, verzögern Sie die Defibrillation nicht zugunsten weiterer Thoraxkompressionen.

Vollautomatische AED

- Diese Geräte sind so konstruiert, dass sie selbsttätig einen Schock abgeben.
- Ihre Sicherheit ist noch nicht gut untersucht worden.

Sicherheit eines AED

- Viele Studien zu öffentlich zugänglichen AED haben gezeigt, dass diese Geräte von Notfallzeugen und Ersthelfern sicher angewendet werden können. Obwohl Schäden für einen Helfer bei der Schockabgabe sehr selten sind, sollen während der Schockabgabe keine Thoraxkompressionen durchgeführt werden.

Sicherheit

- Stellen Sie sicher, dass Sie, der Patient und alle Notfallzeugen in Sicherheit sind.
- Bei Verdacht auf einen Kreislaufstillstand sollen Laienhelfer ohne Bedenken hinsichtlich eines Schadens Wiederbelebungsmaßnahmen durchführen, auch auf die Gefahr hin, dass bei dem Patienten kein Kreislaufstillstand vorliegt.
- Laienhelfer können Thoraxkompressionen und AED-Einsatz sicher durchführen, ein Infektionsrisiko durch die Herzdruckmassage oder Beeinträchtigungen durch versehentlichen Schock über den AED sind sehr selten.
- Für die Wiederbelebung von Personen mit Verdacht auf oder nachgewiesenem Coronavirus (SARS-

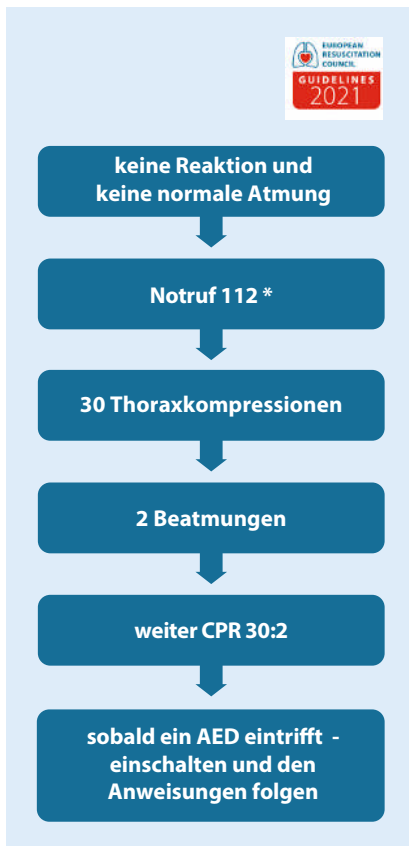


Abb. 2 ▲ BLS Algorithmus. * oder die in Ihrem Land geläufige Notrufnummer

CoV-2) Virus wurden gesonderte Leitlinien erstellt. Siehe www.erc.edu/covid

Technische Hilfen

- Rettungssysteme sollen neue Techniken wie Smartphones mit Video-funktionen, künstliche Intelligenz und Drohnen nutzen, um Kreislaufstillstände zu erkennen, Ersthelfer zu alarmieren, mit Notfallzeugen zu kommunizieren und sie über den Leitstellendisponenten anzuleiten sowie AED an den Ort des Geschehens zu transportieren.

Atemwegsverlegung durch Fremdkörper

- Wenn jemand besonders während des Essens würgt und nicht mehr reden oder sprechen kann.
- Ermuntern Sie den Betroffenen zu husten.
- Ist das Husten wirkungslos:

- Beugen Sie die Person nach vorn.
- Geben Sie mit einer Hand 5 Rückenschläge zwischen die Schulterblätter.
- Sind die Rückenschläge wirkungslos, geben Sie 5 Oberbauchstöße
 - Stellen Sie sich hinter den Patienten und legen Sie beide Arme um seinen Oberbauch,
 - lehnen Sie den Patienten nach vorn,
 - ballen Sie die Faust und legen Sie sie zwischen Nabel und Brustkorb,
 - greifen Sie diese Hand mit der anderen und ziehen Sie kräftig nach innen und oben.
- Falls die Verlegung immer noch nicht beseitigt ist, fahren Sie abwechselnd mit 5 Rückenschlägen und 5 Oberbauchstößen fort.
- Wird der Patient bewusstlos, beginnen Sie mit der Wiederbelebung.

Evidenz, die den Leitlinien zugrunde liegt

Erkennen des Kreislaufstillstands

Eine in der Praxis bewährte Definition des Kreislaufstillstands bezeichnet eine Person, die weder reagiert noch eine normale Atmung [8] hat. Frühere Leitlinien umfassten auch das Fehlen eines tastbaren Pulses als Kriterium. Dies verlässlich in einer stressigen Notfallsituation festzustellen, hat sich sowohl für Fachpersonal als auch Laien als schwierig erwiesen [9–13]. Nicht zu reagieren und nicht normal zu atmen, findet sich zwar auch bei anderen lebensbedrohlichen medizinischen Notfällen, hat sich aber als sehr zuverlässiges Zeichen eines Kreislaufstillstands erwiesen.

Die Anwendung dieser Kriterien könnte zu einer leichten Übertherapie führen. Aber die erhöhte Mortalität bei einem nicht behandelten Kreislaufstillstand wiegt schwerer als das Risiko, mit einer Wiederbelebung zu beginnen, falls bei einem nicht reagierenden, nicht normal atmenden Patienten kein Kreislaufstillstand vorliegt [1].

Schnappatmung

Schnappatmung ist eine langsame, tiefe Atmung, oft als schnarchendes Geräusch

zu hören. Sie wird vom Hirnstamm gesteuert, dem Teil des Gehirns, der auch im Sauerstoffmangel noch einige Minuten funktionsfähig bleibt. Sie kann bei etwa 50% der Kreislaufstillstände auftreten und ist mit einer besseren Prognose verbunden [14, 15]. Schnappen, Seufzen, Stöhnen und andere von Laien gebrauchte Begriffe stellen für sie selbst und für die Leitstellendisponenten eine Herausforderung dar, da sie als Lebenszeichen fehlinterpretiert werden können [14, 16, 17]. Schnappatmung bleibt eine der häufigsten Gründe, warum ein OHCA (Kreislaufstillstand außerhalb eines Krankenhauses) nicht erkannt wird [18–25]. Schnappatmung früh zu erkennen, ist eine Grundvoraussetzung für frühe Wiederbelebung und frühe Defibrillation. Wenn sie vom Leitstellendisponenten nicht erkannt wird, führt dies zu einer verminderten Überlebensrate [21, 26].

Die Schnappatmung als Lebenszeichen fehlzudeuten, kann Notfallzeugen dazu veranlassen, den Patienten in die Seitenlage zu verbringen, statt mit der Wiederbelebung zu beginnen. Das Risiko, zu spät mit einer Wiederbelebung zu starten, überwiegt das Risiko, eine Person wiederzubeleben, die keinen Kreislaufstillstand hat.

Krämpfe

Krämpfe sind häufige medizinische Notfälle und zu 3–4% Anlass für einen Notruf [27–29].

Krampfähnliche Bewegungen von kurzer Dauer sind häufig Begleitzeichen eines Kreislaufstillstands und werden oft nicht als solche erkannt. Kreislaufstillstände machen lediglich 0,6–2,1% der Notrufe aus [28, 30]. In einer jüngeren Beobachtungsstudie konnten 3502 Patienten registriert werden, die außerhalb eines Krankenhauses/präklinisch einen Kreislaufstillstand erlitten hatten und krampfähnliche Bewegungen gezeigt hatten (OHCA). 4,3% (n=149) zeigten krampfähnliche Aktivitäten [31]. Diese Patienten waren jünger (54 vs. 66 Jahre, p<0,05), hatten häufiger einen beobachteten Kreislaufstillstand (88 vs. 45%, p<0,005), wurden eher in einem defibrillierbaren Rhythmus angetroffen (52 vs. 24%, p>0,05) und überlebten öfter bis zur








HANDLUNGSABFOLGE	MASSNAHMEN
SICHERHEIT 	<ul style="list-style-type: none"> Sorgen Sie für die Sicherheit von Helfern und Patienten
REAKTION Überprüfen Sie die Ansprechbarkeit 	<ul style="list-style-type: none"> Schütteln Sie die Person sanft an den Schultern und fragen Sie „Ist alles in Ordnung?“
ATEMWEG Öffnen der Atemwege 	<ul style="list-style-type: none"> Erfolgt keine Reaktion, legen Sie die Person auf den Rücken Ziehen Sie mit einer Hand auf der Stirn und mit den Fingerspitzen der anderen Hand an der Kinnspitze sanft den Kopf nackenwärts, um die Atemwege zu öffnen
ATMUNG Sehen, Hören, Fühlen 	<ul style="list-style-type: none"> Kontrollieren Sie die Atmung durch Sehen, Hören und Fühlen nicht länger als 10 Sekunden Während der ersten Minuten nach einem Kreislaufstillstand ist es möglich, dass ein Patient kaum atmet oder nur vereinzelte geräuschvolle Atemzüge macht – dies ist keine normale Atmung
FEHLENDE ODER NICHT NORMALE ATMUNG Alarmieren Sie den Rettungsdienst 	<ul style="list-style-type: none"> Reagiert der Patient nicht oder atmet er nicht normal, alarmieren Sie den Rettungsdienst oder beauftragen Sie einen Helfer Verlassen Sie den Patienten nur, wenn es keine andere Möglichkeit gibt Aktivieren Sie die Lautsprecherfunktion Ihres Telefons, damit Sie während der Wiederbelebung mit dem Leitstellendisponenten sprechen und seinen Anweisungen folgen können
AED HOLEN LASSEN 	<ul style="list-style-type: none"> Schicken Sie jemanden los, einen AED zu holen Sind Sie allein, verlassen Sie den Patienten nicht und beginnen Sie mit der Wiederbelebung
KREISLAUF Beginnen Sie mit Thoraxkompressionen 	<ul style="list-style-type: none"> Knien Sie neben den Patienten Legen Sie den Ballen einer Hand auf die Mitte der Brust (entspricht der unteren Hälfte des Brustbeins [Sternum]) Legen Sie den Ballen der anderen Hand auf die erste Hand und verschränken Sie die Finger Halten Sie die Arme gerade Bringen Sie Ihre Schultern senkrecht über den Brustkorb und drücken Sie das Brustbein mindestens 5 cm (jedoch nicht mehr als 6 cm) nach unten Entlasten Sie nach jeder Kompression vollständig den Brustkorb, ohne den Kontakt zwischen den Händen und dem Brustkorb zu verlieren Wiederholen Sie dies mit einer Frequenz von 100–120 pro Minute

Abb. 3 ◀ BLS Schritt für Schritt




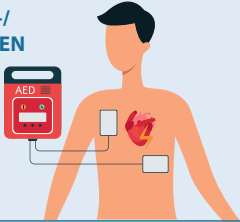
HANDLUNGSABFOLGE	MASSNAHMEN
<p>KOMBINIEREN SIE THORAXKOMPRESSIONEN UND BEATMUNG</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Falls Sie trainiert sind, machen Sie nach 30 Kompressionen die Atemwege durch Überstrecken des Halses und Anheben des Kinns wieder frei • Lassen Sie den Mund sich öffnen, aber heben Sie weiterhin das Kinn an • Atmen Sie normal ein und legen Sie Ihre Lippen um den Mund des Patienten und achten Sie auf eine gute Abdichtung • Blasen Sie gleichmäßig in den Mund, während Sie beobachten, dass sich der Brustkorb wie bei einer normalen Atmung in rund 1 s hebt; das ist eine effektive Beatmung • Nehmen Sie Ihren Mund von dem des Patienten, während Sie den Hals überstreckt und das Kinn angehoben halten, und beobachten Sie, wie der Brustkorb sich beim Entweichen der Luft senkt • Atmen Sie erneut normal ein und blasen Sie noch einmal in den Mund des Patienten, um insgesamt 2 effektive Beatmungen zu erzielen • Unterbrechen Sie für 2 Beatmungen die Kompressionen nicht für mehr als 10 s, auch wenn eine der Beatmungen ineffektiv erscheint • Legen Sie dann Ihre Hände erneut auf die richtige Stelle auf dem Brustbein und führen Sie weitere 30 Thoraxkompressionen durch • Fahren Sie mit Thoraxkompressionen und Beatmungen im Verhältnis 30:2 fort
<p>REANIMATION OHNE BEATMUNG</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Falls Sie nicht trainiert sind oder nicht im Stande zu beatmen, führen Sie (nur) die Thoraxkompressionen fort • Kontinuierliche Thoraxkompressionen mit einer Frequenz von 100–120 pro Minute
<p>WENN DER AED VERFÜGBAR IST Schalten Sie den AED ein und kleben Sie die Elektroden auf</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Sobald ein AED verfügbar ist, schalten Sie ihn ein und kleben die selbstklebenden Elektroden auf die nackte Brust des Patienten
<p>FOLGEN SIE DEN SPRACH-/ BILDSCHIRMANWEISUNGEN</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Folgen Sie den Sprachanweisungen des AED • Stellen Sie sicher, dass niemand den Patienten berührt, wenn ein Schock empfohlen wird • Drücken Sie den Auslöseknopf, wenn Sie dazu aufgefordert werden • Starten Sie unverzüglich erneut mit der Wiederbelebung und folgen Sie weiter den Sprachanweisungen des Geräts

Abb. 3 ◀ (Fortsetzung)

Entlassung aus dem Krankenhaus (44 vs. 16%). Ähnlich wie bei der Schnappatmung führten krampfähnliche Episoden bei einem nicht reagierenden, nicht normal atmenden Patienten zu Problemen beim Erkennen des Kreislaufstillstands

durch Laien/Notfallzeugen und Leitstellendisponenten. (Mittlere Zeit bis zur Wahrnehmung des Kreislaufstillstands durch den Leitstellendisponenten (130 s vs. 62 s, $p > 0,05$) [31].

Das Erkennen eines Kreislaufstillstands nach einem solchen Krampfergebnis – wenn der Patient nicht reagiert und nicht normal atmet – ist wichtig, um eine verzögerte Wiederbelebung zu vermeiden. Das Risiko, eine notwendige

SEQUENCE/ACTION	TECHNICAL DESCRIPTION
<p>WENN KEIN SCHOCK EMPFOHLEN WIRD Führen Sie die Wiederbelebung fort</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Nehmen Sie unverzüglich die Wiederbelebung wieder auf und folgen Sie den Sprachanweisungen
<p>IST KEIN AED VERFÜGBAR Führen Sie die Wiederbelebung fort</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Ist kein AED verfügbar oder • Sie warten darauf, dass dieser gebracht wird, so fahren Sie mit der Wiederbelebung fort • Unterbrechen Sie die Maßnahmen nicht, bis: <ul style="list-style-type: none"> • Ein professioneller Helfer Sie anweist, aufzuhören • Oder <ul style="list-style-type: none"> • der Patient wirklich aufwacht, sich bewegt, die Augen öffnet und normal zu atmen beginnt • Oder <ul style="list-style-type: none"> • Sie erschöpft sind • Es ist selten, dass durch Wiederbelebung allein wieder ein Kreislauf erreicht wird. Wenn Sie nicht wirklich sicher sind, fahren Sie mit der Wiederbelebung fort, bis der Patient Zeichen der Erholung zeigt: <ul style="list-style-type: none"> • Er wacht auf • Er öffnet die Augen • Er atmet normal
<p>WENN DER PATIENT NICHT REAGIERT, ABER NORMAL ATMET Seitenlage, wenn nicht ansprechbar, aber normal atmend</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Wenn Sie sicher sind, dass der Patient normal atmet, aber nicht reagiert, drehen Sie ihn in die Seitenlage (Erste-Hilfe-Kapitel) • Seien Sie bereit, sofort wieder mit der Wiederbelebung zu beginnen, wenn sich der Zustand des Patienten wieder verschlechtert (fehlende oder nicht normale Atmung)

Abb. 3 ◀ (Fortsetzung)

Wiederbelebung zu verzögern, ist größer als eine Person wiederzubeleben, welche keinen Kreislaufstillstand hat.

Alarmierung des Rettungsdiensts

Die Frage „erst alarmieren oder erst wiederbeleben“ mag von praktischer Relevanz sein, wenn im Notfall kein Telefon zur Hand ist. Da aber Mobiltelefone die Telekommunikation inzwischen dominieren, bedeutet eine Alarmierung des Rettungsdiensts keine Verzögerung der Wiederbelebung. Nach einem systematischen Review empfiehlt das ILCOR

Notfallzeugen, welche über ein Mobiltelefon verfügen, die Notrufnummer zu wählen, die Lautschaltung zu aktivieren und sofort mit der vom Leitstellendisponenten unterstützten/assistierten Wiederbelebung zu beginnen [1]. Die Empfehlung basiert auf einer Beobachtungsstudie mit geringer Evidenz und Expertenkonsens [32]. Die Beobachtungsstudie aus Japan umfasste 5446 Patienten mit OHCA und verglich Wiederbelebung zuerst mit Notruf zuerst. Die Gesamtüberlebensraten waren vergleichbar, aber Subgruppenanalysen zeigten ein verbessertes Überleben mit

besserem neurologischem Ergebnis bei der Strategie Wiederbelebung „zuerst“. Ein verbessertes Ergebnis ergab sich bei nichtkardialen Ursachen (aOR 2,01 [95%-CI 1,39–2,9]); unter 65 Jahren (aOR 1,38 [95%-CI 1,09–1,76]), unter 20 Jahren (aOR 3,74 [95%-CI 1,46–9,61]) und sowohl Alter unter 65 Jahren als auch nichtkardiale Ursachen zusammengefasst (aOR 4,31 [95%-CI 2,38–8,48]) [32].

Limitiert wird die Aussage der Untersuchung dadurch, dass nur Fälle eingeschlossen wurden, in denen Laien die präklinischen Kreislaufstillstände beob-

achtet hatten und sofort ohne Unterstützung einer Leitstelle Wiederbelebungsmaßnahmen durchführten. Die Gruppen unterschieden sich in Alter, Geschlecht, initialem Rhythmus, Notfallzeugen Qualifikation sowie Eintreffzeiten des Rettungsdienstes.

Ungeachtet der niedrigen Evidenz hat das ILCOR eine starke Empfehlung für frühzeitigen Beginn der Wiederbelebung durch Notfallzeugen ausgesprochen.

Trotz der weiten Verbreitung von Mobiltelefonen können sich Situationen ergeben, in denen priorisiert werden muss, neben der Betrachtung der konkreten Umstände scheint es vernünftig, zunächst die Alarmierung auszulösen und dann mit der Wiederbelebung zu beginnen.

Thoraxkompressionen mit hoher Qualität

Die Herzdruckmassage nimmt im Rahmen der Wiederbelebung eine Schlüsselstellung ein. Schließlich geht es darum, im Kreislaufstillstand eine Blutversorgung lebenswichtiger Organe aufrechtzuerhalten. Ihre Qualität hängt von der korrekten Händeposition, der Eindringtiefe, der Frequenz und der Brustkorbentlastung ab.

Jede Unterbrechung bedeutet eine Pause in der Organdurchblutung und damit eine Verstärkung des ischämischen Schadens.

Handposition

Das ILCOR hat 2020 die Evidenz für die optimale Handposition neu betrachtet [1].

In der Vergangenheit wurden die Empfehlungen zur Handposition bei der Kompression mehrfach geändert, allerdings auf sehr niedrigem Evidenzniveau. Es gab keine Daten, die zeigten, welche spezifische Handposition optimal für das Überleben wäre. Auch fanden sich in einer erneuten Durchsicht keine Daten zu dem neurologischen Ergebnis, Überleben oder Spontanwiederkehr eines Kreislaufs (ROSC).

Drei Studien von schwacher Evidenz untersuchten den Einfluss der Handposition auf physiologische Endpunkte [33–35]. In einer Crossover-Studie an

17 Erwachsenen mit längerer Reanimation nach nichttraumatischem Kreislaufstillstand konnte in der Kompressionsystole ein verbesserter arterieller Spitzendruck und eine bessere endtidale Kohlendioxidelimination ($etCO_2$) gezeigt werden, wenn die Kompression über dem unteren Brustbeindrittel im Vergleich zur Brustkorbmitte erfolgte [34]. Ähnliche Ergebnisse erbrachte eine Crossover-Studie an 10 Kindern, wenn die Kompressionen im unteren Brustbeindrittel verglichen wurden mit denen in der Mitte des Sternums: Der Druckpunkt im unteren Brustbeindrittel erbrachte bessere arterielle Spitzen- und Mitteldrücke [33]. In einer dritten Studie an 30 Erwachsenen im Kreislaufstillstand ergab der Vergleich der Handpositionen keinen Einfluss auf das $etCO_2$ [35].

Bei der systematischen Sichtung der Literatur hat das ILCOR Arbeiten zur Bildgebung ausgeschlossen, da keine Angaben zum klinischen Ergebnis berichtet wurden. Sie geben aber ergänzende Hintergrundinformationen über die optimale Position bei Kompressionen, welche aufgrund der anatomischen Strukturen bei den empfohlenen und alternativen Handpositionen abgedeckt werden. Jüngere Studien mit bildgebenden Verfahren weisen darauf hin, dass bei den meisten Erwachsenen und Kindern der maximale Ventrikelquerschnitt unter dem unteren Drittel der Sternum/Sternoxivoid-Verbindung liegt. Die aufsteigende Aorta und der ventrikuläre Ausflusstrakt liegen hingegen unter der Mitte der Brust [36–42]. Abhängig von Alter, Body-Mass-Index, angeborenen Herzerkrankungen und einer Schwangerschaft finden sich jedoch wichtige individuelle Unterschiede, sodass eine spezielle Handposition nicht sicherstellt, dass über einen weiten Personenkreis eine optimale Kompression erreicht wird [37, 41, 43].

Diese Ergebnisse führen dazu, dass das ILCOR an den bestehenden Empfehlungen festhält und dazu auffordert, Kompressionen beim Kreislaufstillstand über der unteren Hälfte des Brustbeins durchzuführen (schwache Empfehlung, sehr niedrige Evidenz).

In Übereinstimmung mit den ILCOR-Empfehlungen empfiehlt der ERC, dass gelehrt werden soll, Thoraxkompressionen über der Mitte der Brust durchzuführen und dabei die Handposition über der unteren Hälfte des Brustbeins zu demonstrieren.

Thoraxkompressionen: Drucktiefe, Frequenz und Brustwandentlastung

Diese Leitlinie basiert auf ILCOR-Empfehlungen [1], gestützt von einer systematischen Übersicht [44] und den vorherigen ERC-BLS-Leitlinien [45]. Die Übersichtsarbeit der ILCOR-Arbeitsgruppe BLS hat sich mit dem Thema Thoraxkompressionen mit Fokus auf Kompressionsfrequenz, Drucktiefe und Brustwandentlastung beschäftigt. Ziel war es, kürzlich publizierte Evidenz zu finden zu den Themen, die einzelne Aspekte oder das Zusammenwirken der einzelnen Komponenten der Herzdruckmassage betreffen.

Zusätzlich zu den 14 in den Leitlinien von 2015 berücksichtigten Studien [45] wurden 8 Studien gefunden, welche seitdem veröffentlicht wurden [46–53]. Es konnten somit 22 Studien zu dem Thema ausgewertet werden. Fünf Beobachtungsstudien betrachteten Kompressionsfrequenz und -tiefe [51, 52, 54, 55]. Eine randomisierte kontrollierte Studie [47], eine Crossover-Studie [56] und 6 Beobachtungsstudien [48, 53, 57–60] untersuchten nur die Kompressionsfrequenz. Eine randomisierte Studie [61] und 6 Beobachtungsstudien untersuchten nur die Drucktiefe [62–67] und 2 Beobachtungsstudien die Entlastung der Brustwand [46, 49]. Zum Thema Abstützen auf dem Brustkorb wurden keine Untersuchungen gefunden.

Indem diese Übersichtsarbeit wesentliche Lücken in der Forschung zu der Interaktion von einzelnen Komponenten der Herzdruckmassage feststellte, fand sich keine hinreichende Evidenz dafür, eine neue systematische Übersicht zu starten oder die derzeitigen Behandlungsempfehlungen zu überdenken.

Daher sind die ILCOR-Empfehlungen zu Thoraxkompressionstiefe, Kompressionsfrequenz und Brustkorbentlastung verglichen mit 2015 unverändert [45].

Das ILCOR empfiehlt Herzdruckmassagen mit einer Frequenz 100–120 min⁻¹ (starke Empfehlung mit sehr geringer Evidenz), eine Drucktiefe von etwa 5 cm (starke Empfehlung mit sehr geringer Evidenz) unter Vermeidung exzessiver Thoraxkompression von mehr als 6 cm beim durchschnittlichen Erwachsenen.

Wer eine Herzdruckmassage durchführt, soll vermeiden, sich zwischen den Kompressionen auf dem Brustkorb zu lehnen und damit die Entlastung zu behindern (schwache Empfehlung mit sehr geringer Evidenz).

In Übereinklang mit den ILCOR-Empfehlungen empfiehlt der ERC Thoraxkompressionsfrequenzen von 100 bis 120 pro Minute mit einer Drucktiefe von 5 bis 6 cm, wobei ein Anlehnen auf den Brustkorb zwischen den Kompressionen verhindert werden muss. Die Empfehlung zur Drucktiefe von 5 bis 6 cm stellt einen Kompromiss dar hinsichtlich Beobachtungen, dass zu geringe Drucktiefen zu schlechteren Ergebnissen führen und tiefere Kompressionen Schaden anrichten [45].

Fester Untergrund

Das ILCOR hat den Konsens zu Wissen und Behandlungsempfehlungen zum Thema Herzdruckmassage auf festem Untergrund 2020 aktualisiert [1, 68].

Wenn Thoraxkompressionen auf einer weichen Unterlage (Matratze) durchgeführt werden, werden sowohl Brustkorb als auch Unterlage komprimiert [69]. Dies hat das Potenzial, die Effektivität zu mindern. Dennoch kann eine effektive Drucktiefe auch auf einer weichen Unterlage erreicht werden, wenn derjenige der die Wiederbelebung durchführt genügend Kraft aufbringt, um das Zusammendrücken der Matratze zu kompensieren [70–76].

Die systematische Literatursuche durch das ILCOR fand 12 Studien an Übungsphantomen, welche die Bedeutung eines festen Untergrunds für Wiederbelebung herausstellten [68].

Diese Studien wurden unterteilt in solche, die den Matratzentyp [73, 77–79], den Fußboden im Vergleich mit dem Bett und den Einfluss von Rückenbretern untersuchten [72, 73, 80–84]. Es wurden

keine Studien an Menschen gefunden. In 3 randomisierten Studien, in denen der Einfluss der Matratzen untersucht wurde, fanden sich keine Unterschiede in der Tiefe der Thoraxkompressionen in Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Matratzen [73, 77–79].

Vier randomisierte Studien zeigten, dass zwischen Fußboden und Bett kein Unterschied in der Drucktiefe feststellbar ist [78, 79, 85, 86].

Von den 7 randomisierten Studien, die Rückenbreter untersuchten, konnten 6 in eine Metaanalyse eingeschlossen werden, welche zeigte, dass die Drucktiefe im Mittel um 3 mm (95%-CI 1–4) verbessert wurde [72, 73, 80–83]. Die klinische Bedeutung dieses zwar statistisch signifikanten Unterschieds wurde in der Diskussion für gering erachtet.

Diese Befunde führten dazu, dass das ILCOR empfiehlt, Herzdruckmassagen, wann immer es möglich ist, auf einem festen Untergrund durchzuführen (schwache Empfehlung, sehr niedrige Evidenz).

Ferner empfiehlt das ILCOR, dass, falls das Bett einen Wiederbelebungsmodus hat, der die Steifigkeit der Matratze erhöht, dieser aktiviert werden soll (schwache Empfehlung, sehr niedrige Evidenz), und spricht sich dagegen aus, den Patienten aus dem Bett auf den Fußboden zu verlagern, um die Thoraxkompressionen zu verbessern (schwache Empfehlung, sehr niedrige Evidenz).

Die Effekte von Rückenbretern werden vom ILCOR als zu gering eingeschätzt, um eine Empfehlung auszusprechen.

In Übereinstimmung mit der ILCOR-Handlungsempfehlung schlägt der ERC vor, Thoraxkompressionen möglichst auf festem Untergrund durchzuführen.

Im stationären Bereich eines Krankenhauses wird NICHT empfohlen, den Patienten aus dem Bett auf den Fußboden umzulagern. Der ERC empfiehlt nicht, Rückenbreter einzusetzen.

Atemspende

Verhältnis Thoraxkompression-Beatmung (CV)

Das ILCOR hatte 2017 den Konsens zu Empfehlungen das Kompressions-Ven-

tilations-Verhältnis (CV) betreffend aktualisiert [87].

In der begleitenden systematischen Literaturdurchsicht fand sich in zwei Kohortenstudien ($n = 4877$) Evidenz dafür, dass bei Erwachsenen ein Kompressions-Ventilations-Verhältnis von 30:2 im Vergleich mit 15:2 ein verbessertes neurologisches Outcome erzielte (Risikounterschied 1,72% [95%-CI 0,5–2,9]) [88]. Die Metaanalyse von 6 Kohortenstudien ($n = 13.962$) zeigte auf, dass bei einem Kompressions-Ventilations-Verhältnis 30:2 mehr Patienten überlebten als bei 15:2 (Risikodifferenz 2,48 [95%-CI 1,57–3,38]).

Ein ähnliches Muster für ein besseres Outcome zeigte eine kleine Kohortenstudie ($n = 200$), wenn bei einem schockbaren Rhythmus ein Verhältnis 50:2 im Vergleich mit 15:2 gewählt wurde (Risikodifferenz 21,5 [95%-CI 6,9–36,06]) [89].

Die ILCOR-Empfehlung, die ein CV von 30:2 bei einem Patienten im Kreislaufstillstand vorschlägt, bleibt gültig und bildet die Basis für die ERC-Leitlinien, abwechselnd 30 Kompressionen und 2 Beatmungen durchzuführen.

Reanimation ohne Beatmung („compression only CPR“)

Die Rolle der Beatmung und Oxygenierung zu Beginn der Behandlung eines Kreislaufstillstands bleibt in der Diskussion. Das ILCOR hat eine systematische Literaturdurchsicht von Arbeiten durchgeführt, in denen „Compression-only“-Wiederbelebungen mit Standardwiederbelebung sowohl bei Laienhelfern als auch im professionellen Umfeld, inklusive Rettungsdienst, verglichen wurden [88, 90].

Sechs Beobachtungsstudien mit niedriger Gewissheit verglichen in einem Ersthelfer/Notfallzeugen-Szenario alleinige Thoraxkompressionen mit Standardwiederbelebung sowohl mit einem CV 15:2 als auch 30:2 [21, 91–95]. In der Metaanalyse zweier Studien gab es keinen signifikanten Unterschied im neurologischen Outcome, wenn die Patienten mit Compression-only- oder Standardreanimation mit einem CV 15:2 behandelt wurden (RR 1,34 [95%-CI 0,82–2,20]; RD 0,51% [95%-CI 2,16–3,18]) [21,

93]. In einer Metaanalyse dreier Studien wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden, was ein günstiges neurologisches Outcome betraf, wenn Patienten verglichen wurden, die entweder nur Thoraxkompressionen erhielten oder Standardwiederbelebung zu einer Zeit erhielten, als das Kompressions-Ventilations-Verhältnis von 15:2 auf 30:2 umgestellt wurde (RR 1,12 [95%-CI 0,71–1,77]; RD 0,28 % [95%-CI –2,33 bis 2,89]) [92, 94, 95]. In einer Studie hatten Patienten die nur Thoraxkompressionen erhalten hatten, schlechtere Überlebensraten als Patienten, die mit einer Standard-CPR und einem CV 30:2 versorgt wurden (RR 0,75 % [95%-CI 0,73–1, 78]; RD –1,42 % [95%-CI 1,58 bis –1,25]) [91]. Kürzlich hat eine Studie, die den Effekt einer landesweit verbreiteten Empfehlung zur alleinigen Thoraxkompression durch Laien untersuchte, ergeben, dass Patienten, welche isoliert Thoraxkompressionen im Rahmen einer Wiederbelebung erhalten hatten, eine geringere Überlebensrate aufwiesen als solche, die Thoraxkompressionen und Beatmungen im Verhältnis 30:2 bekommen hatten (RR 0,72 [95%-CI 0,69–0,76]; RD –0,74 % [95%-CI –0,85 bis 0,63]) [91]. Daher empfiehlt das ILCOR Notfallzeugen, die darin ausgebildet sind und bereit dazu und willens sind, Thoraxkompressionen und Atemspende bei allen Erwachsenen im Kreislaufstillstand anzuwenden (schwache Empfehlung, sehr niedrige Evidenz).

Eine im Rettungsdienstbereich durchgeführte sehr hochwertige randomisierte Studie schloss 23711 Patienten ein. Diejenigen, welche einer Beutel-Masken-Beatmung mit Thoraxkompressionen zugeordnet waren, hatten keinen nachweisbaren Vorteil hinsichtlich günstigem neurologischem Outcome (RR 0,92 [95%-CI 0,84–1,00]; RD –0,65 % [95%-CI 1,31 bis 0,02]) verglichen mit Patienten, welche eine konventionelle CPR mit CV 30:2 erhalten hatten [96]. Das ILCOR empfiehlt für den Rettungsdienst, eine Reanimation mit CV 30:2 oder kontinuierliche Thoraxkompressionen ohne Pausen mit Beatmungen und mit positivem Druck durchzuführen, bis ein Endotrachealtubus oder ein supraglottischer Atemweg

appliziert ist (starke Empfehlung, hohe Evidenz).

In Übereinstimmung mit den ILCOR-Empfehlungen empfiehlt der ERC sowohl Laien/Notfallzeugen als auch im professionellen Umfeld, während der Wiederbelebung 30 Thoraxkompressionen im Wechsel mit 2 Beatmungen durchzuführen.

Automatisierte externe Defibrillatoren

Ein AED (automatisierter externer Defibrillator, seltener automatischer externer Defibrillator) ist ein tragbares, batteriebetriebenes Gerät mit Klebeelektroden, die auf der Brust des Patienten angebracht werden, um den Herzrhythmus zu analysieren, wenn ein Kreislaufstillstand vermutet wird. Gelegentlich ist es notwendig, eine sehr behaarte Brust zu rasieren, wenn die Elektroden nicht gut kleben. Wenn Kammerflimmern (oder eine pulslose ventrikuläre Tachykardie) vorliegt, erfolgt ein hörbares oder audiovisuelles Signal, das den Anwender auffordert, einen elektrischen Schock abzugeben. Bei anderen Herzrhythmen (einschließlich Asystolie und normalem Herzrhythmus) wird kein Schock empfohlen. Weitere Anweisungen werden dem Anwender gegeben, um eine Wiederbelebung zu beginnen oder zu beenden. AED sind sehr genau in der Beurteilung des Herzrhythmus und sehr sicher und effektiv in der Anwendung durch Laien.

Die Wahrscheinlichkeit, einen außerklinischen Kreislaufstillstand (OHCA) zu überleben, ist deutlich erhöht, wenn unmittelbar Wiederbelebung durchgeführt wird und ein Defibrillator zum Einsatz kommt. Ein AED ermöglicht es Laien/Notfallzeugen, eine Defibrillation bei einem Kreislaufstillstand durchzuführen, viele Minuten bevor professionelle Hilfe kommt. Jede Minute Verzögerung reduziert die Chance auf erfolgreiche Wiederbelebung um 3–5 % [97].

Der ILCOR-Konsens von 2020 gibt eine starke Empfehlung, Programme einzuführen, mit denen der Einsatz von öffentlich zugänglichen Defibrillatoren beim präklinischen Kreislaufstillstand gefördert wird; allerdings auf der Basis

einer geringen Evidenz [1]. Die wissenschaftliche Stellungnahme des ILCOR zu Defibrillatoren in der Öffentlichkeit betont wesentliche Begleitmaßnahmen für alle solche Programme (Früherkennung, neue Methoden zur Heranführung des Geräts, Verbesserung der Verfügbarkeit, Kennzeichnung, bessere öffentliche Wahrnehmung, AED-Register, mobile Apps zum erleichterten Finden eines Geräts zum Durchführen einer Defibrillation im öffentlichen Raum).

Thoraxkompressionen vor der Defibrillation

Das ILCOR hat den Konsens zu Empfehlungen betreffend die Durchführung von Thoraxkompressionen vor einer Defibrillation 2020 aktualisiert [1]. Fünf randomisierte Studien wurden ausfindig gemacht, in denen kürzere mit längeren Intervallen an Thoraxkompressionen vor einer Defibrillation untersucht wurden [98–102].

Die Endpunkte variierten von Einjahresüberleben mit gutem neurologischem Ergebnis bis zur Rückkehr eines Spontankreislaufs (ROSC). Eine Metaanalyse zeigte keine klaren Vorteile einer Wiederbelebung vor der Defibrillation für kritische oder bedeutsame Endpunkte. In der Metaanalyse von 4 Studien fand sich kein signifikanter Unterschied im günstigen neurologischen Ergebnis zwischen den Patienten, die eine kürzere oder längere Wiederbelebung vor der Defibrillation erhalten hatten (RR 1,02 [95%-CI –0,01–0,01]); 1 weiterer Patient/1000 (–29 bis 98) [98, 99, 101, 102]. In einer Metaanalyse von 5 Studien fand sich kein signifikanter Unterschied im Überleben nach kürzerer oder längerer Wiederbelebung vor der Defibrillation (RR 1,01 [95%-CI 0,90–1,15]); 1 weiterer Patient/1000 (–8 bis 13) [98–102].

Das ILCOR empfiehlt beim unbeobachteten Kreislaufstillstand eine kürzere Phase der Wiederbelebung, bis ein AED vor Ort verfügbar und einsatzbereit ist.

Übereinstimmend damit empfiehlt der ERC Wiederbelebung durchzuführen, bis ein AED verfügbar, eingeschaltet und mit dem Patienten verbunden ist, dann soll aber die Defibrillation nicht mehr verzögert werden.

Elektrodenplatzierung. Das ILCOR hat 2020 eine Literaturübersicht zur Frage, ob es eine Evidenz für die optimale AED-Elektrodenbeschaffenheit und -platzierung gibt, vorgenommen [1]. Da keine neue Evidenz gefunden wurde, beruht die Aussage der ILCOR-BLS-Arbeitsgruppe lediglich auf einem Expertenkonsens nach Diskussionen.

Bei diesen Diskussionen wurden Studien herausgehoben, die gezeigt hatten, dass eine anterior-posteriore Elektrodenplatzierung effektiver ist als die traditionelle anterolaterale oder anteroapikale bei der elektiven Defibrillation des Kammerflimmerns, während die meisten Studien keinen klaren Vorteil einer speziellen Elektrodenposition zeigen konnten.

Der transmyokardiale Stromfluss während der Defibrillation ist voraussichtlich dann maximal, wenn die Elektroden so platziert werden, dass der Bereich des Herzens, in dem die Störung stattfindet, direkt zwischen diesen liegt (d. h. Ventrikel in VF/pulslose VT, Vorhöfe in AF). Daher ist die optimale Elektrodenposition für ventrikuläre und atriale Arrhythmien möglicherweise nicht dieselbe. Das ILCOR schlägt weiterhin vor, die Elektroden in anterolateraler Position auf der freiliegenden Brust zu platzieren. Eine akzeptable alternative Position ist anteroposterior. Bei großbrüstigen Personen ist es sinnvoll, die linke Defibrillationselektrode seitlich oder unterhalb der linken Brust zu platzieren, um Brustgewebe zu umgehen. Es soll erwogen werden, überschüssiges Brusthaar schnell vor dem Aufbringen der Elektroden zu entfernen. Der Schwerpunkt muss jedoch auf der Minimierung von Verzögerungen bei der Schockabgabe liegen. Es gibt keine ausreichende Evidenz, um eine bestimmte Elektrodengröße für eine optimale externe Defibrillation bei Erwachsenen zu empfehlen. Es ist jedoch sinnvoll, eine Padgröße von mehr als 8 cm zu verwenden [103, 104]. In Übereinstimmung mit den ILCOR-Behandlungsempfehlungen und um Verwirrung für die Person zu vermeiden, die den AED verwendet, empfiehlt die ERC-BLS-Autorengruppe, die Elektrodenpads immer in anterolateraler Position auf der nackten Brust

des Betroffenen, wie auf dem AED dargestellt, anzubringen.

CPR-Feedback-Geräte

Um die Qualität der Wiederbelebung zu verbessern, müssen wichtige CPR-Messwerte erfasst werden. CPR-Qualitätsdaten können dem Helfer in Echtzeit präsentiert und/oder in einem zusammenfassenden Bericht am Ende einer Wiederbelebung bereitgestellt werden. Die Messung der CPR-Leistung zur Verbesserung von Reanimationssystemen wird im Kapitel „Systeme, die Leben retten“ behandelt [105]. In diesem Abschnitt werden Echtzeit-Feedback-Geräte für Ersthelfer erläutert.

Das ILCOR hat den Konsens über die Empfehlung zu Wissenschaft und Behandlung für Rückmeldungen zur CPR-Qualität im Jahr 2020 aktualisiert [1]. Es wurden drei Arten von Feedbacksystemen identifiziert: 1) digitales audiovisuelles Feedback, einschließlich Korrektur durch Tonansagen; 2) analoges Audio- und taktiles Klickerfeedback für die Tiefe und Entlastung der Thoraxkompression und 3) Metronombegleitung für die Frequenz der Thoraxkompressionen. In allen Studien besteht eine erhebliche klinische Heterogenität in Bezug auf die Art der verwendeten Geräte, den Mechanismus der CPR-Qualitätsmessung, die Art der Rückmeldung, die Patiententypen, die Standorte (z. B. im Krankenhaus und außerhalb des Krankenhauses) und den Ausgangswert (Kontrollgruppe) der CPR-Qualität.

Digitales audiovisuelles Feedback einschließlich korrigierender Sprachanweisung

Eine Cluster-RCT [106] sowie vier Beobachtungsstudien [50, 107–109] untersuchten die Auswirkungen dieser Geräte auf günstige neurologische Ergebnisse. Die Cluster-RCT mit niedriger Sicherheit fand keinen Unterschied im Hinblick auf ein gutes neurologisches Ergebnis (relatives Risiko 1,02; 95 %-CI 0,76–1,36; $p=0,9$) [106]. Während eine der Beobachtungsstudien einen Zusammenhang mit einem verbesserten günstigen neurologischen Ergebnis herausfand (angepasstes Chancenverhältnis 2,69; 95 %-CI

1,04–6,94) [109], taten es die anderen drei nicht [50, 107, 108].

Eine Cluster-RCT [106] und sechs Beobachtungsstudien [51, 55, 107, 109, 110] bewerteten die Einflüsse dieser Geräte auf das Überleben bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus sowie auf das Überleben 30 Tage nach dem Ereignis. Weder die Cluster-RCT mit niedriger Sicherheit (relatives Risiko 0,91; 95 %-CI 0,69–1,19; $p=0,5$) [106] noch die Beobachtungsstudien ergaben einen mit diesen Geräten verbundenen Nutzen [51, 55, 107, 109–111].

Der potenzielle Nutzen von audiovisuellem Echtzeitfeedback besteht in seiner Fähigkeit, die Qualität der Wiederbelebung zu verbessern. Während die randomisierte, kontrollierte Studie mit niedriger Sicherheit eine verbesserte Rate bei den Thoraxkompressionen (Differenz von 4,7 pro Minute; 95 %-CI –6,4–3,0), der Kompressionstiefe (Differenz von 1,6 mm; 95 %-CI 0,5–2,7 mm) und beim Thoraxkompressionsanteil zeigte (Differenz von 2 %; 66 % vs. 64 %, $p=0,016$), ist die klinische Bedeutung dieser relativ kleinen Unterschiede der CPR Kennzahlen fraglich [106].

Fünf Beobachtungsstudien mit geringerer Zuverlässigkeit verglichen verschiedene CPR-Kennzahlen [50, 55, 107, 109, 110]. Eine Beobachtungsstudie zeigte keinen Unterschied in den Thoraxkompressionsraten mit und ohne den Einsatz eines Feedbacksystems [110]. Die anderen vier Beobachtungsstudien [50, 55, 107, 109] zeigten niedrigere Kompressionsraten in der Gruppe mit CPR-Feedback mit Unterschieden zwischen –23 und –11 Kompressionen pro Minute. Eine Beobachtungsstudie zeigte keinen Unterschied in der Thoraxkompressionstiefe – mit und ohne Feedbacksystem [110]. Drei Beobachtungsstudien zeigten signifikant tiefere Thoraxkompression im Bereich von 0,4 bis 1,06 cm (0,2 bis 0,42 Zoll) [50, 55, 109]. Zwei Studien berichteten über statistisch signifikante Erhöhungen des Anteils der Herzdruckmassage im Zusammenhang mit der Nutzung von Feedbacksystemen [107, 110], und drei Studien beobachteten keine statistisch oder klinisch relevanten wichtigen Unterschiede [50, 55, 109]. Die Couper-Studie zeigte einen Anstieg

des Kompressionsanteils von 78 % (8 %) auf 82 % (7 %), $p=0,003$ [107]. Dieser Anstieg ist von fragwürdiger klinischer Bedeutung. Die Bobrow-Studie zeigte einen Anstieg des Thoraxkompressionsanteils von 66 % (95 %-CI 64 auf 68) auf 84 % (95 %-CI 82 auf 85) [109]. Zwei wichtige Vorbehalte gegenüber dieser Studie entstehen aus der Sorge, dass der beobachtete Unterschied möglicherweise nicht mit dem Feedbackgerät zusammenhängt, da es noch andere Trainingsinterventionen gab und ein imputierter Datensatz verwendet wurde. Keine der Studien zeigte eine Verbesserung der Beatmungsfrequenz [50, 55, 106, 107, 109, 110].

Analoges Audio- und taktiles Klickerfeedback

Analoge Klickergeräte, die von einem Ersthelfer auf der Brust des Patienten platziert werden können, verfügen über einen Mechanismus, der bei ausreichendem Druck ein Klickgeräusch und ein Klickgefühl erzeugt. Diese bieten fühlbares Feedback zur korrekten Kompressionstiefe und zur vollständigen Entlastung zwischen den einzelnen Thoraxkompressionen.

Eine randomisierte, kontrollierte Studie mit geringer Zuverlässigkeit bewertete die Wirkung eines Klickergeräts auf das Überleben bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus und fand in der mit dem Klickergerät behandelten Gruppe ein signifikant verbessertes Ergebnis (relatives Risiko 1,90; 95 %-CI 1,60–2,25; $p < 0,001$) [112]. Zwei randomisierte, kontrollierte Studien mit geringer Zuverlässigkeit bewerteten die Auswirkung eines Klickergeräts auf ROSC und fanden in der mit dem Klickergerät behandelten Gruppe ein signifikant verbessertes Ergebnis (relatives Risiko 1,59; 95 %-CI 1,38–1,78; $p < 0,001$ und relatives Risiko 2,07; 95 %-CI 1,20–3,29, $p < 0,001$) [112, 113].

Metronom – begleitete Herzdruckmassage

In einer Beobachtungsstudie mit geringer Zuverlässigkeit wurde die Wirkung eines Metronoms zur Steuerung der Thoraxkompressionsrate während der CPR vor Ankunft des Rettungswagens untersucht. Es wurde kein Nutzen für das „30-Tage-

Überleben“ festgestellt (relatives Risiko 1,66; 95 %-CI –17,7–14,9, $p = 0,8$) – eine weitere Beobachtungsstudie mit geringer Zuverlässigkeit bewertete die Wirkung eines Metronoms auf das 7-Tage-Überleben und fand ebenfalls keinen Unterschied (3/17 vs. 2/13; $p = 0,9$) [114]. Zwei Beobachtungsstudien bewerteten die Wirkung eines Metronoms auf einen ROSC und fanden keinen Unterschied im Ergebnis (angepasstes relatives Risiko 4,97; 95 %-CI –21,11–11,76, $p = 0,6$ und 7/13 vs. 8/17, $P = 0,7$) [111, 114].

Unter Berücksichtigung dieser Daten empfahl das ILCOR die Verwendung von audiovisuellem Echtzeitfeedback und Sprachanweisungsgeräten während der Wiederbelebung in der klinischen Praxis als Teil eines umfassenden Qualitätsverbesserungsprogramms, das darauf abzielt eine qualitativ hochwertige CPR-Durchführung und Reanimationsversorgung in allen Reanimationssystemen zu gewährleisten. Es sprach sich jedoch gegen die Verwendung von audiovisuellem Echtzeitfeedback und Sprachanweisungsgeräten in isolierter Form aus (d. h. nicht als Teil eines umfassenden Qualitätsverbesserungsprogramms) [115].

Sicherheit

Gefahren für Ersthelfer

Diese Leitlinie basiert auf einem ILCOR-Scoping-Review [115], den ERC-BLS-Leitlinien von 2015 [45] sowie dem kürzlich veröffentlichten ILCOR consensus on science, treatment recommendations and task force insights [4], einer systematischen ILCOR-Überprüfung [5] und den ERC-COVID-19-Leitlinien [6].

Die ILCOR BLS Task Force untersuchte die Gefährdung von Personen, die eine CPR durchführen, um neuere Erkenntnisse über das Risiko für Ersthelfer zu veröffentlichen. Diese Überprüfung wurde vor der COVID-19-Pandemie abgeschlossen. In dieser Erhebung wurden nur sehr wenige Berichte über Schäden durch CPR und Defibrillation identifiziert. Fünf experimentelle Studien und ein seit 2008 veröffentlichter Fallbericht wurden zu diesem Zweck überprüft. Die fünf experimentellen Studien berichteten über Beobachtungen in experimentellen Umgebungen während der Schock-

abgabe für die elektive Kardioversion. In diesen Studien haben die Autoren in verschiedenen Experimenten den Stromfluss sowie die durchschnittliche Leckage gemessen, um die Sicherheit der Retter bewerten zu können. Trotz begrenzter Datenlage zur Bewertung der Sicherheit bestand innerhalb der ILCOR BLS Task Force und der ERC-BLS-Autorengruppe breite Übereinstimmung darüber, dass die Verwendung eines AED im Allgemeinen sicher ist. In Übereinstimmung mit den ILCOR-Behandlungsempfehlungen empfiehlt der ERC, dass Laienretter Thoraxkompressionen durchführen und einen AED verwenden sollen, da das Risiko einer Verletzung der Helfer durch eine versehentliche Schockabgabe während der Verwendung eines AED gering ist [1, 45, 115].

Da die SARS-CoV-2-Infektionsraten weltweit stark gestiegen sind, hat sich unser Bewusstsein für die Sicherheit während einer Wiederbelebung grundlegend geändert. Eine kürzlich durch das ILCOR durchgeführte systematische Untersuchung der Studienlage zu einer Übertragung von SARS-CoV-2 während der Wiederbelebung ergab elf Studien: zwei Kohortenstudien, eine Fall-Kontroll-Studie, fünf Fallberichte und drei Puppen-RCT. Die Untersuchung des ILCOR zeigte keine Hinweise, dass bei der CPR oder einer Defibrillation ausreichend Aerosole erzeugt wurden, um sich mit SARS-CoV-2 zu infizieren. Die Evidenz war jedoch bei allen Studien als gering zu bewerten [5]. Basierend auf den Ergebnissen dieser systematischen Übersichtsarbeit, aber immer noch vorsichtig veröffentlichte das ILCOR Consensus-on-Science-and-Treatment-Empfehlungen, die darauf abzielen, die Vorteile einer frühzeitigen Reanimation mit dem potenziellen Schaden für Pflegepersonal während der COVID-19-Pandemie abzuwägen. Die daraus resultierenden Empfehlungen richten sich an Laien. So sollen Thoraxkompressionen und öffentlich zugängliche Defibrillation während der COVID-19-Pandemie dennoch durchgeführt bzw. verwendet werden. Das ILCOR empfiehlt jedoch ausdrücklich, dass Angehörige der Gesundheitsberufe eine umfangreiche persönliche Schutzausrüstung bei

allen aerosolbildenden Eingriffen verwenden sollen. In den folgenden ERC-Leitlinien wurde die Notwendigkeit hervorgehoben, die aktuellen Empfehlungen der lokalen Behörden zu befolgen, da die Infektionsraten zwischen den Regionen teils stark variieren. Für den Notfallzeugen ist es wichtig, die Anweisungen der Leitstellendisponenten zu befolgen. Der ERC hat Leitlinien für modifizierte BLS-Maßnahmen bei Verdacht auf eine COVID-19-Erkrankung veröffentlicht [6]. Die wichtigsten Änderungen beziehen sich auf die Verwendung von persönlicher Schutzausrüstung, die Beurteilung der Atmung, ohne sich der Nase oder dem Mund des Patienten zu nähern, sowie die Feststellung, dass Beatmungen ein potenziell aerosolerzeugendes Verfahren sind, das mit einem Risiko der Krankheitsübertragung einhergeht. Details finden Sie in den ERC-COVID-19-Leitlinien (https://www.grc.org.de/files/ArticleFiles/document/ERC%20Leitlinien_COVID-19_final.pdf).

Schäden durch Wiederbelebnungsmaßnahmen bei Betroffenen ohne Kreislaufstillstand

Laien/Notfallzeugen könnten zögern, eine Herzdruckmassage bei einer Person durchzuführen, die nicht auf Ansprache reagiert und keine oder keine normale Atmung hat, da sie befürchten, die Herzdruckmassage könne ernsthafte Schäden verursachen. Die Hinweise auf Schäden durch CPR bei Patienten ohne Kreislaufstillstand wurden durch das ILCOR im Jahr 2020 erneut überprüft [1]. Bei dieser systematischen Überprüfung wurden vier Beobachtungsstudien mit geringer Zuverlässigkeit identifiziert, die 762 Patienten umfassten. Diese Patienten hatten keinen Kreislaufstillstand, erhielten jedoch eine Herzdruckmassage von Notfallzeugen außerhalb des Krankenhauses. Bei drei der Studien wurden die medizinischen Unterlagen überprüft, um Schäden festzustellen, [116–118]. Eine Studie führte telefonische Interviews in der Folge durch [116]. Zusammengefasste Daten aus den ersten drei Studien, darunter 345 Patienten, ergaben eine Rhabdomyolyseinzidenz von 0,3% (ein Fall), einen Knochenbruch (Rippen und Schlüsselbein) von

1,7% (95%-CI 0,4–3,1%), Schmerzen im Bereich der Thoraxkompression von 8,7% (95%-CI 5,7–11,7%) und keine klinisch relevante viszerale Verletzung. Die vierte Studie stützte sich auf Beobachtungen der Feuerwehr vor Ort. Bei 417 Patienten wurden keinerlei Verletzungen gemeldet [119]. Fallberichte und Fallserien mit schwerwiegenden Schäden für Personen, an denen Wiederbelebnungsmaßnahmen durchgeführt wurden, obwohl kein Kreislaufstillstand vorlag, werden wahrscheinlich veröffentlicht, da sie für eine breite Interessentengruppe im Gesundheitswesen von hohem Interesse sind. Die wenigen Berichte über Schäden, die veröffentlicht wurden, bestärken die Argumente, dass Schäden wahrscheinlich sehr selten sind und die erwünschten Auswirkungen bei Weitem die unerwünschten Auswirkungen übersteigen.

Trotz geringer Evidenz empfiehlt das ILCOR, dass Notfallzeugen eine Herzdruckmassage im Falle eines vermuteten Kreislaufstillstands unmittelbar einleiten, ohne Bedenken hinsichtlich einer eventuellen Schädigung des Patienten. Die ERC-Richtlinien stimmen mit den ILCOR-Behandlungsempfehlungen dahingehend vollständig überein.

Wie Technologie helfen kann

Technologie wird für viele Annehmlichkeiten des Lebensstils eingesetzt, von unseren Smartphones bis hin zu innovativen Anwendungen in der Medizin. Eine Vielzahl von Forschern arbeitet an unterschiedlichsten Umsetzungsbereichen. Für BLS sind die interessantesten Anwendungsbereiche bspw. das Auffinden von AED, Smartphones und Smartwatches als Hilfe für Ersthelfer zu einem Patienten navigiert zu werden, Feedback zur Qualität der Maßnahmen in Echtzeit zu erhalten sowie Videokommunikation mit einem Mitarbeiter der Leitstellen zu ermöglichen. Die neue „Science-Fiction“-Technologie beschreibt den möglichen Einsatz von Drohnen und den Einfluss von künstlicher Intelligenz auf die Überlebenskette.

AED-Locator-Apps

Im Fall eines Kreislaufstillstands außerhalb des Krankenhauses erhöht eine frühe Defibrillation die Überlebenschancen. Das Auffinden eines AED während der Notfallsituation kann jedoch eine echte Herausforderung sein, da der Retter/Notfallzeuge selten weiß, wo sich der nächste AED befindet. Dank integrierter globaler Positionierungssysteme (GPS) in Smartphones wurden bereits zahlreiche Apps veröffentlicht, die dem Benutzer anhand seiner Position den nächstgelegenen AED anzeigen können. Darüber hinaus können Benutzer solcher Apps neue AED hinzufügen, sobald sie verfügbar sind, oder Hinweise zu bestehenden AED in allen Städten und Gemeinden aktualisieren. Infolgedessen können Apps zum Auffinden von AED beim Aufbau und der Pflege eines aktualisierten Registers von AED in der Gemeinde helfen, das von Notrufzentralen genutzt und integriert werden könnte. Üblicherweise zeigen derartige Apps eine Liste von AED in der Nähe an und ermöglichen über eine Routennavigation zum nächstgelegenen AED geführt zu werden. Daten zu Standort, Zugang, Verfügbarkeitszeit, Foto der Installation und Kontakte des Eigentümers oder der für den AED verantwortlichen Person werden in der Regel bereitgestellt. Benutzer haben auch die Möglichkeit, fehlerhafte oder fehlende AED zu melden. Der Stellenwert der Mobiltelefone als Hilfsmittel zum Auffinden von AED wird im Kapitel „Systeme, die Leben retten“ ausführlich beschrieben [105].

Smartphones und Smartwatches

Unter den Forschern besteht ein wachsendes Interesse an der Integration von Smartphones und Smartwatches in die Ausbildung und das Training in der kardiopulmonalen Reanimation/Wiederbelebung und Defibrillation sowie an der Verbesserung der Reaktion auf OHCA mit speziellen Apps. Ursprünglich wurden diese Apps entwickelt, um Ausbildungsinhalte zur Wiederbelebung für den Bildungsbereich bereitzustellen. Der technologischen Entwicklung der letzten Jahre folgend, wurden Smartphone-Apps verwendet, um durch Ausnutzung des eingebauten Beschleunigungs-

gungsmessers ein Feedback zur CPR-Qualität zu geben. Solche Systeme können dem Retter über die Lautsprecher und den Bildschirm audiovisuelles Feedback in Echtzeit geben. Obwohl aktuelle Echtzeit-Feedback-Geräte, die in professionellen Umgebungen getestet wurden, nur begrenzte Auswirkungen auf den Reanimationserfolg hatten, könnten neue Technologien die Qualität der Wiederbelebnungsmaßnahmen verbessern. Im Zuge der technologischen Entwicklung wurde das gleiche Konzept auch auf Smartwatches angewendet. Diese Geräte sind aufgrund ihrer geringen Größe und Tragbarkeit besonders als Feedbacksysteme geeignet. Eine systematische Literaturdurchsicht ergab widersprüchliche Ergebnisse zur Rolle intelligenter Geräte. In einer randomisierten Simulationsstudie, in der die Wirksamkeit einer dieser Apps bewertet wurde, konnte die Qualität der CPR durch die Verwendung einer Smartwatch-basierten App mit audiovisuellem Echtzeitfeedback in simuliertem OHCA erheblich verbessert werden [120]. In ähnlicher Weise wurde bei Verwendung eines Smartphones ein höherer Anteil an Thoraxkompressionen mit ausreichender Tiefe beobachtet [121]. Die aktuelle Datenlage ist derzeit noch begrenzt, dennoch könnte die Verwendung Smartwatch-basierter Systeme eine wichtige Strategie sein, um Feedback zur Herzdruckmassage mit intelligenten Geräten bereitzustellen.

Während der telefonischen CPR können Disponenten Bürger, die sich in unmittelbarer Nähe eines OHCA befinden, über ein Textnachrichtensystem oder eine Smartphone-App lokalisieren und alarmieren und sie zum nächstgelegenen AED führen. Untersuchungen haben gezeigt, dass diese Strategie den Anteil der Patienten erhöht, die vor der Ankunft des Rettungswagens eine CPR erhalten, und Überlebenschancen verbessert [122–125]. Die Rolle der Mobiltelefon-technologie als Strategie zur Alarmierung von Ersthelfern wird im Kapitel „Systeme, die Leben retten“ beschrieben [105].

Videokommunikation

Smartphone- und Videokommunikation spielen in der modernen Gesell-

schaft eine zunehmend wichtige Rolle. Traditionell geben Disponenten einer Rettungsleitstelle Anweisungen während einer Telefonreanimation bisher nur in Form einer Tonansage. Dank der neu entwickelten Technologie können Disponenten zukünftig auch per Videotelefonie Anweisungen geben und so bei der Reanimation unterstützen. Eine kürzlich durchgeführte systematische Überprüfung und Metaanalyse identifizierte neun Arbeiten, die Videoanweisungen für simulierte OHCA evaluierten. Die Geschwindigkeit der Thoraxkompressionen war bei Videoanweisungen besser. Weiterhin gab es einen Trend zu einer besseren Positionierung der Hände auf dem Brustkorb. Es konnte kein Unterschied in der Kompressionstiefe oder der Zeit bis zur ersten Beatmung beobachtet werden. Die Zeit bis zum Beginn der Thoraxkompressionen mit Videoanweisungen nahm im Vergleich ohne Anweisung mit Videosignal geringfügig zu [126]. In einer aktuelleren retrospektiven Studie bei erwachsenen Patienten mit prähospitalen Kreislaufstillstand wurden insgesamt 1720 infrage kommende Patienten (1489 bzw. 231 in der Audio- und Videogruppe) bewertet. Das mittlere Zeitintervall der Anleitung (ITI) betrug 136 s in der Audiogruppe und 122 s in der Videogruppe ($p=0,12$). Die Überlebenschance bis zur Krankenhausentlassung betrug 8,9% in der Audiogruppe und 14,3% in den Videogruppen ($p<0,01$). Ein gutes neurologisches Ergebnis trat bei 5,8% und 10,4% in der Audio- bzw. Videogruppe auf ($p<0,01$) [127]. In einer prospektiven klinischen Studie zu OHCA in Pflegeheimen wurde die Anwendung der Videokommunikation zur Anleitung der erweiterten Herz-Lungen-Wiederbelebung durch Sanitäter in 616 konsekutiven Fällen bewertet. Bei etwa einem Drittel, das per Video instruierten ALS erhielten, betrug die Überlebenschance 4,0% im Vergleich zu 1,9% ohne Videoanweisungen ($p=0,078$). Das Überleben mit gutem neurologischem Ergebnis betrug 0,5% im Vergleich zu 1,0% [128].

Künstliche Intelligenz

Künstliche Intelligenz (KI) ist Intelligenz, die von Maschinen demonstriert wird. Im Gegensatz dazu steht die natürliche Intelligenz, die der Mensch zeigt. Der Begriff künstliche Intelligenz wird häufig verwendet, um Maschinen (bspw. Computer) zu beschreiben, die kognitive Funktionen imitieren, die üblicherweise mit dem menschlichen Geist verbunden sind (z. B. Lernen und das Lösen von Problemen).

Künstliche Intelligenz (KI) wurde auf Gesundheitszustände angewendet, um darzustellen, dass ein Computer bei der klinischen Entscheidungsfindung helfen kann [129, 130]. Die Verwendung von KI als Instrument zur Verbesserung der Schlüsselkomponenten der Überlebenskette wird derzeit evaluiert. Kürzlich wurde ein „Machine-Learning-Ansatz“ verwendet, um OHCA aus unbearbeiteten Aufzeichnungen von Notrufen an eine medizinische Notrufzentrale zu erkennen und die Leistung des „Machine-Learning-Frameworks“ wurde anschließend bewertet [131]. Die Studie umfasste 108.607 Notrufe, bei denen 918 (0,8%) Anrufe mit Bezug zu einem Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses waren und somit für eine detailliertere Analyse infrage kamen. Im Vergleich zu regulären Mitarbeitern in Rettungsleitstellen hatte die grundlegende Struktur des maschinellen Lernens eine signifikant höhere Sensitivität (72,5% vs. 84,1%, $p<0,001$) mit einer etwas geringeren Spezifität (98,8% vs. 97,3%, $p<0,001$). Das „Machine-Learning-Framework“ hatte einen geringeren positiven Vorhersagewert im Vergleich zu den Disponenten in der Rettungsleitstelle (20,9% vs. 33,0%, $p<0,001$). Die Zeit bis zur Erkennung war für das System im Vergleich zu den Disponenten signifikant kürzer (Median 44 s vs. 54 s, $p<0,001$). Eine weitere Anwendungsmöglichkeit von künstlicher Intelligenz in Bezug auf die Erkennung von Kreislaufstillständen außerhalb des Krankenhauses sind integrierte Software-Heimassistenten. Die weite Verbreitung von Smartphones und intelligenten Lautsprechern bietet eine einzigartige Gelegenheit, hörbare Biomarker (agonale Atmung) zu identifizieren. Resultierend

daraus können Ersthelfer bzw. professionelle Rettungskräfte zum Betroffenen alarmiert werden. Eine kürzlich durchgeführte Studie stellte die Hypothese auf, dass bereits vorhandene Gebrauchsgegenstände (z. B. Smartphones und intelligente Lautsprecher) verwendet werden könnten, um die mit einem Kreislaufstillstand assoziierte agonale Atmung in der häuslichen Umgebung zu identifizieren. Die Forscher entwickelten einen spezifischen Algorithmus, der die agonale Atmung anhand eines Datensatzes der Rettungsleitstelle erkennt. Anhand von verifizierten Audioaufzeichnungen von Kreislaufstillständen aus der realen Welt trainierte das Forschungsteam eine KI-Software, um agonale Atmung zu klassifizieren. Die Ergebnisse zeigten eine Gesamtsensitivität und -spezifität von 97,24 % (95 %-CI 96,86–97,61 %) und 99,51 % (95 %-CI 99,35–99,67 %). Die falsch-positiven Ergebnisse lagen zwischen 0 und 0,14 % über 82 h (117.985 Audiosegmente) polysomnographischer Schlafabordaten, einschließlich Schnarchen, Hypopnoe sowie zentraler und obstruktiver Schlafapnoe [132].

Das letzte Beispiel für den möglichen Einsatz von künstlicher Intelligenz dient der Vorhersage der Überlebenswahrscheinlichkeit. Zwei Studien berichteten über die Verwendung von KI als ein Prognose-System sowie einen Algorithmus, um Faktoren zu beschreiben, die Einfluss auf das neurologische Ergebnis und die Wahrscheinlichkeit einer Krankenhausentlassung haben [133, 134]. Weitere Forschung ist erforderlich, um das Potenzial der KI-Technologie zur Unterstützung klinischer Entscheidungen beim Menschen einschätzen zu können.

Drohnen

Trotz der steigenden Anzahl von AED in Gemeinden sind die Geräte bei Kreislaufstillständen außerhalb der Krankenhäuser immer noch selten vor Ort verfügbar. Ein besserer Zugang zu AED sowie die Verkürzung der Zeit bis zur ersten Defibrillation sind entscheidend für die Wahrscheinlichkeit, einen Kreislaufstillstand zu überleben. Drohnen oder andere unbemannte Luftfahrzeuge könnten AED an den Ort des Geschehen liefern.

Mithilfe mathematischer Modelle kann die optimale Position von Drohnen bestimmt werden, um die Reaktionszeit von Ersthelfern bei Kreislaufstillständen zu verbessern.

In den letzten Jahren haben mehrere Studien sowohl die Wirksamkeit als auch die Durchführbarkeit des Zubringens von AED mit Drohnen untersucht. Studien haben gezeigt, wie die Lieferung von AED durch eine Drohne problemlos möglich ist. Dies sogar ohne Probleme bei der Aktivierung, dem Start, der Landung oder wenn der Ersthelfer den AED aus der Drohne entnimmt. Es kann davon ausgegangen werden, dass der AED häufig früher mit der Drohne als mit dem Rettungswagen beim Patienten eintrifft [135, 136]. Eine in Toronto (Kanada) durchgeführte Studie schätzte, dass die AED-Ankunftszeit in einer städtischen Region um fast 7 min und in einem ländlichen Gebiet um mehr als 10 min reduziert werden könnte [136]. Eine solche Verkürzung der Ankunftszeit eines AED könnte zu einer kürzeren Zeit bis zur ersten Defibrillation führen, was letztendlich das Überleben verbessern kann. Drohnen für das Zubringen von AED könnten auch in Gebieten mit geringer Bevölkerungs- und AED-Dichte sowie in Berg- und ländlichen Gebieten eine wichtigere Rolle spielen [137]. Eine Studie, welche die Erfahrung von Umstehenden bei der Bergung eines AED aus einer Drohne untersuchte, ergab, dass die Interaktion mit einer Drohne bei einem simulierten OHCA von Laien als sicher und praktikabel wahrgenommen wurde [138].

Die Auswirkung des Einflusses von Technologien auf die Erkennung und Leistung bei Kreislaufstillständen oder auf die Patientenergebnisse ist unbekannt. Weitere Forschung ist erforderlich, um zu verstehen, wie verschiedene Technologien die Erkennung von Kreislaufstillständen (z. B. künstliche Intelligenz und Videokommunikation), die Geschwindigkeit der Herzdruckmassage durch Ersthelfer (z. B. AED-Ortungs-Apps, Smartphones und Smartwatches) und das Überleben (z. B. Drohnen) beeinflussen können. Die Überprüfung der Einführung und der Konsequenzen dieser Technologien in Wiederbelebung-

programme wäre nützlich, um zukünftige Praktiken weiterzuentwickeln.

Verlegung der Atemwege durch Fremdkörper

Die Blockade der Atemwege durch Fremdkörper (FBAO) ist ein häufiges Problem. Viele Fälle lassen sich leicht beheben, ohne dass Mitarbeiter des Gesundheitswesens hinzugezogen werden müssen. Die Blockade der Atemwege durch Fremdkörper gehört in jedem Fall zu den relevanten Todesursachen [139, 140, 140]. Sie tritt in allen Altersgruppen auf – am häufigsten sind jedoch Kinder oder ältere Menschen betroffen [141, 141–143].

Da die meisten Erststichungsereignisse direkt mit der Nahrungsaufnahme verbunden sind, werden sie häufig beobachtet und sind potenziell behandelbar. Die Betroffenen sind anfangs bei Bewusstsein und reagieren auf die Helfer. Daher besteht häufig die Möglichkeit für ein frühzeitiges Eingreifen, was lebensrettend sein kann. Für jeden Fall, der einen Krankenhausaufenthalt notwendig macht oder gar zum Tod führt, gibt es eine Vielzahl an Fällen, die durch Maßnahmen der Ersten Hilfe effektiv behandelt werden konnten.

Erkennung

Das frühe Erkennen einer Atemwegsverlegung ist der Schlüssel zu einer erfolgreichen Behandlung. Es ist wichtig, diesen Notfall nicht mit einer einfachen Ohnmacht, einem Herzinfarkt, Krampfanfall oder anderen Zuständen zu verwechseln. Auch diese Zustände können plötzliche Atemnot, Zyanose oder Bewusstlosigkeit verursachen. Zu den Faktoren, die das Risiko für eine Atemwegsverlegung erhöhen, gehören neben Psychopharmaka auch Alkoholvergiftungen sowie neurologische Erkrankungen mit verminderten Schluck- und Hustenreflexen, geistige Behinderungen, Entwicklungsstörung, Demenz, schlechtes Gebiss und hohes Lebensalter [143, 144]. Am häufigsten sind die Atemwege mit Feststoffen verlegt, wie Nüssen, Trauben, Samen, Gemüse, Fleisch und Brot [142, 143]. Insbesondere Kinder nehmen al-

le möglichen Gegenstände in den Mund [142].

Ein Fremdkörper kann sich in den oberen Atemwegen, der Luftröhre oder den unteren Atemwegen (Bronchien und Bronchiolen) festsetzen [145]. Verlegungen der Atemwege können teilweise oder vollständig sein. Bei einer teilweisen Atemwegsverlegung kann immer noch Luft um die Blockierung herumströmen, was eine gewisse Belüftung ermöglicht. Auch die Fähigkeit zum Husten besteht weiterhin. Eine vollständige Atemwegsverlegung tritt ein, wenn keine Luft mehr um die Blockierung herumströmen kann. Unbehandelt führt eine vollständige Atemwegsverlegung innerhalb weniger Minuten zu Hypoxie, Bewusstlosigkeit und Kreislaufstillstand. Eine schnelle Behandlung ist entscheidend.

Es ist wichtig, den Betroffenen zu fragen: „Würgen Sie?“ Ein Betroffener, der noch sprechen, husten und atmen kann, hat vermutlich eine leichte Verlegung der Atemwege. Wer nicht mehr sprechen kann, nur noch schwach hustet, Probleme bei der Atmung hat oder gar keine Luft mehr bekommt, hat eine schwere Atemwegsverlegung.

Behandlung der Atemwegsobstruktion durch Fremdkörper

Die Leitlinien für die Behandlung von FBAO, die nach der systematische Überprüfung durch ILCOR und CoSTR [115, 146] erstellt wurden, unterstreichen die Bedeutung einer frühzeitigen Intervention durch einen Ersthelfer [147, 148].

Patienten bei Bewusstsein mit einer Atemwegsverlegung

Eine Person, die bei Bewusstsein und in der Lage ist, zu husten, soll dazu ermutigt werden, da Husten einen hohen und anhaltenden Druck in den Atemwegen erzeugt und den Fremdkörper ausstoßen kann [147, 149, 150]. Eine aggressive Behandlung mit Rückenschlägen, Oberbauchstößen und Brustkompressionen birgt ein gewisses Verletzungsrisiko und kann die Blockierung ggf. sogar verschlimmern. Diese Verfahren, insbesondere Oberbauchstöße, sind Betroffenen vorbehalten, die Anzeichen einer schwe-

ren Atemwegsblockierung aufweisen, wie z. B. die Unfähigkeit zu husten oder Zeichen einer Erschöpfung. Wenn sich durch Husten das Hindernis nicht beseitigen lässt oder der Betroffene Anzeichen von Ermüdung zeigt, geben Sie bis zu 5 Rückenschläge. Wenn diese unwirksam sind, geben Sie bis zu 5 Oberbauchstöße. Wenn beide Therapieansätze nicht erfolgreich sind, werden weitere Versuche von 5 Rückschlägen, gefolgt von 5 Oberbauchstößen durchgeführt.

Bewusstloser Betroffener mit einer Atemwegsverlegung durch Fremdkörper

Wenn der Betroffene zu irgendeinem Zeitpunkt keine oder keine normale Atmung zeigt und bewusstlos ist, wird umgehend mit Thoraxkompressionen gemäß dem BLS-Wiederbelebungsalgorithmus begonnen und so lange fortgesetzt, bis der Betroffene beginnt normal zu atmen oder der Rettungsdienst eintrifft. Der Grund dafür ist, dass Brustkompressionen höhere Atemwegsdrücke erzeugen als Oberbauchstöße und möglicherweise die Verlegung lösen, während sie gleichzeitig ein gewisses Herzzeitvolumen liefern [151–153].

Ungefähr 50 % der FBAO-Ereignisse können nicht durch eine alleinige Behandlungsstrategie gelöst werden [149]. Die Erfolgswahrscheinlichkeit lässt sich erhöhen, indem eine Kombination aus Rückenschlägen und Oberbauchstößen und ggf. sogar Bruststößen angewendet wird.

Eine Manipulation mit den Händen ohne direkte Sicht auf den Gegenstand, der die Atemwege verlegt, kann die Atemwegsverlegung weiter verschlimmern und zusätzliche Verletzungen an den Weichteilen verursachen [1]. Versuchen Sie nur dann, den Gegenstand mit den Händen zu entfernen, wenn das Hindernis im Mund deutlich zu erkennen ist.

Die Verwendung einer Magill-Zange durch geschultes medizinisches Fachpersonal unterliegt nicht dem Geltungsbereich der ERC-BLS-Leitlinie.

Alternative Techniken

Seit einigen Jahren sind manuelle Absauggeräte zur Entfernung von Fremd-

körpern im Handel erhältlich. Der ERC verfolgt einen ähnlichen Ansatz wie das ILCOR, indem er vorschlägt, dass zunächst die Sicherheit, Wirksamkeits- und Schulungsanforderungen solcher Geräte überprüft werden müssen, bevor Empfehlungen für oder gegen deren Verwendung abgegeben werden können [1]. Ähnlich verhält es sich mit Interventionen wie Tisch- [154] und Stuhlmanöver [155]. zum gegenwärtigen Zeitpunkt fehlen ausreichende Beweise für ihre Einführung in die Leitlinien.

Nachbehandlung und Überweisung zur medizinischen Nachsorge

Nach erfolgreicher Beseitigung einer Atemwegsverlegung durch Fremdkörper können immer noch Fremdkörper in den oberen oder unteren Atemwegen verblieben sein und später zu Komplikationen führen. Patienten mit anhaltendem Husten, Schluckbeschwerden oder dem Gefühl, dass ein Gegenstand immer noch im Hals steckt, sollen für eine medizinische Begutachtung an den Hausarzt oder eine Klinik überwiesen werden. Oberbauchstöße und Thoraxkompressionen können möglicherweise schwere innere Verletzungen verursachen. Alle Betroffenen, die mit diesen Maßnahmen erfolgreich behandelt wurden, sollen in der Folge von einem qualifizierten Arzt untersucht werden.

Korrespondenzadresse

Theresa M. Olasveengen

Department of Anesthesiology, Oslo University Hospital and Institute of Clinical Medicine, University of Oslo
Oslo, Norwegen
ulrich.jost@dlrg.de

Korrespondierender Übersetzer

Dr. med. Ulrich Jost
Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft e. V.
Im Niedernfeld 1–3
31542 Bad Nenndorf
ulrich.jost@dlrg.de

Danksagung. Die Autorengruppe würdigt die Beiträge von Tommaso Scquizzato zum Entwurf des Abschnitts „Wie Technologie helfen kann“. Gavin D. Perkins wird vom Nationalen Institut für Gesundheitsforschung (NIHR) für angewandte Forschungszusammenarbeit (ARC) in West Midlands unterstützt. Die geäußerten Ansichten sind die der Autoren und

nicht unbedingt die des NIHR oder des Ministeriums für Gesundheit und Soziales.

Die Übersetzung dieses Kapitels wurde von Dr. med. Ulrich Jost und Sebastian Habicht, B.A. geleistet.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. T.M. Olsveengen declares research funding from Laerdal Foundation and Zoll Foundation. J. Soar declares his role as an editor of Resuscitation; he declares institutional research funding for the Audit-7 project. M. Smyth reports unspecified institutional research funding. G. Ristagno declares his role of consultant for Zoll; he reports research grant from Zoll for the AMSA trial and other Institutional grants: EU Horizon 2020 support for ESCAPE-NET, Fondazione Sestini support for the project "CPArtrial", EU Horizon 2020 and Coordination and support for the action "iProcureSecurity". G.D. Perkins reports funding from Elsevier for his role as an editor of the journal Resuscitation. He reports research funding from the National Institute for Health Research in relation to the PARAMEDIC2 trial and the RESPECT project and from the Resuscitation Council UK and British Heart Foundation for the OHCAORegistry. A. Handley declared his role of Medical advisor British Airways and Medical Director of Places for People. F. Semeraro, M. Castren, A. Kuzovlev, K.G. Monsieurs, V. Raffay, and H. Svavarsdóttir declare that they have no competing interests. [Stand 07.05.2020, Originalartikel in *Resuscitation*]

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

- Olsveengen TM, Mancini ME, Perkins GD, Avis S, Brooks S et al (2020) Adult basic life support 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 161:98–114
- Koster RW, Sayre MR, Botha M, et al (2010) Part 5: Adult basic life support: 2010 International consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 81(Suppl.1):e48–70
- Zideman DA, Singletary EM, Borra V et al (2021) Erste Hilfe. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. *Notf Rett Med*. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00886-w>
- Perkins GD, Morley PT, Nolan JP et al (2020) International Liaison Committee on Resuscitation: COVID-19 consensus on science, treatment recommendations and task force insights. *Resuscitation* 151:145–147
- Couper K, Taylor-Phillips S, Grove A et al (2020) COVID-19 in cardiac arrest and infection risk to rescuers: a systematic review. *Resuscitation* 151:59–66
- Nolan JP, Monsieurs KG, Bossaert L et al (2020) European Resuscitation Council COVID-19 guidelines executive summary. *Resuscitation* 153:45–55
- Perkins GD, Gräsner J-T, Semeraro F et al (2021) Kurzfassung. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00883-z>
- Koster RW, Sayre MR, Botha M et al (2010) Part 5: adult basic life support: 2010 International consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 81(Suppl 1):e48–e70
- Bahr J, Klingler H, Panzer W, Rode H, Kettler D (1997) Skills of lay people in checking the carotid pulse. *Resuscitation* 35:23–26
- Ruppert M, Reith MW, Widmann JH et al (1999) Checking for breathing: evaluation of the diagnostic capability of emergency medical services personnel, physicians, medical students, and medical laypersons. *Ann Emerg Med* 34:720–729
- Perkins GD, Stephenson B, Hulme J, Monsieurs KG (2005) Birmingham assessment of breathing study (BABS). *Resuscitation* 64:109–113
- Handley AJ, Koster R, Monsieurs K, Perkins GD, Davies S, Bossaert L (2005) European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2005. Section 2. Adult basic life support and use of automated external defibrillators. *Resuscitation* 67(Suppl 1):S7–S23
- Anonymous (2000) Part 3: adult basic life support. European Resuscitation Council. *Resuscitation* 46:29–71
- Clark JJ, Larsen MP, Culley LL, Graves JR, Eisenberg MS (1992) Incidence of agonal respirations in sudden cardiac arrest. *Ann Emerg Med* 21:1464–1467
- Debaty G, Labarere J, Frascione RJ et al (2017) Long-term prognostic value of gasping during out-of-hospital cardiac arrest. *J Am Coll Cardiol* 70:1467–1476
- Bang A, Herlitz J, Martinell S (2003) Interaction between emergency medical dispatcher and caller in suspected out-of-hospital cardiac arrest calls with focus on agonal breathing. A review of 100 tape recordings of true cardiac arrest cases. *Resuscitation* 56:25–34
- Riou M, Ball S, Williams TA et al (2018) 'She's sort of breathing': what linguistic factors determine call-taker recognition of agonal breathing in emergency calls for cardiac arrest? *Resuscitation* 122:92–98
- Dami F, Heymann E, Pasquier M, Fuchs V, Carron PN, Hugli O (2015) Time to identify cardiac arrest and provide dispatch-assisted cardio-pulmonary resuscitation in a criteria-based dispatch system. *Resuscitation* 97:27–33
- Bohm K, Rosenqvist M, Hollenberg J, Biber B, Engerstrom L, Svensson L (2007) Dispatcher-assisted telephone-guided cardiopulmonary resuscitation: An underused lifesaving system. *Eur J Emerg Med* 14:256–259
- Fukushima H, Imanishi M, Iwami T et al (2015) Abnormal breathing of sudden cardiac arrest victims described by laypersons and its association with emergency medical service dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation instruction. *Emerg Med Clin North Am* 32:314–317
- Berdowski J, Beekhuis F, Zwiderman AH, Tijssen JG, Koster RW (2009) Importance of the first link: description and recognition of an out-of-hospital cardiac arrest in an emergency call. *Circulation* 119:2096–2102
- Travers S, Jost D, Gillard Y et al (2014) Out-of-hospital cardiac arrest phone detection: those who most need chest compressions are the most difficult to recognize. *Resuscitation* 85:1720–1725
- Vaillancourt C, Verma A, Trickett J et al (2007) Evaluating the effectiveness of dispatch-assisted cardiopulmonary resuscitation instructions. *Acad Emerg Med* 14:877–883
- Brinkrolf P, Metelmann B, Scharte C, Zarbock A, Hahnenkamp K, Bohn A (2018) Bystander-witnessed cardiac arrest is associated with reported agonal breathing and leads to less frequent bystander CPR. *Resuscitation* 127:114–118
- Hardeland C, Sunde K, Ramsdal H et al (2016) Factors impacting upon timely and adequate allocation of prehospital medical assistance and resources to cardiac arrest patients. *Resuscitation* 109:56–63
- Viereck S, Moller TP, Ersboll AK et al (2017) Recognising out-of-hospital cardiac arrest during emergency calls increases bystander cardiopulmonary resuscitation and survival. *Resuscitation* 115:141–147
- Feldman MJ, Verbeek PR, Lyons DG, Chad SJ, Craig AM, Schwartz B (2006) Comparison of the medical priority dispatch system to an out-of-hospital patient acuity score. *Acad Emerg Med* 13:954–960
- Sporer KA, Johnson NJ (2011) Detailed analysis of prehospital interventions in medical priority dispatch system determinants. *West J Emerg Med* 12:19–29
- Clawson J, Olola C, Scott G, Heward A, Patterson B (2008) Effect of a Medical Priority Dispatch System key question addition in the seizure/convulsion/fitting protocol to improve recognition of ineffective (agonal) breathing. *Resuscitation* 79:257–264
- Dami F, Rossetti AO, Fuchs V, Yersin B, Hugli O (2012) Proportion of out-of-hospital adult non-traumatic cardiac or respiratory arrest among calls for seizure. *Emerg Med* 29:758–760
- Schwarzkopf M, Yin L, Hergert L, Drucker C, Counts CR, Eisenberg M (2020) Seizure-like presentation in OHCA creates barriers to dispatch recognition of cardiac arrest. *Resuscitation* 156:230–236
- Kamikura T, Iwasaki H, Myojo Y, Sakagami S, Takei Y, Inaba H (2015) Advantage of CPR-first over call-first actions for out-of-hospital cardiac arrests in nonelderly patients and of noncardiac aetiology. *Resuscitation* 96:37–45
- Orlowski JP (1986) Optimum position for external cardiac compression in infants and young children. *Ann Emerg Med* 15:667–673
- Cha KC, Kim HJ, Shin HJ, Kim H, Lee KH, Hwang SO (2013) Hemodynamic effect of external chest compressions at the lower end of the sternum in cardiac arrest patients. *J Emerg Med* 44:691–697
- Qvigstad E, Kramer-Johansen J, Tomte O et al (2013) Clinical pilot study of different hand positions during manual chest compressions monitored with capnography. *Resuscitation* 84:1203–1207
- Park M, Oh WS, Chon SB, Cho S (2018) Optimum chest compression point for cardiopulmonary resuscitation in children revisited using a 3D coordinate system imposed on CT: a retrospective, cross-sectional study. *Pediatr Crit Care Med* 19:e576–e584
- Lee J, Oh J, Lim TH et al (2018) Comparison of optimal point on the sternum for chest compression between obese and normal weight individuals with respect to body mass index, using computer tomography: A retrospective study. *Resuscitation* 128:1–5
- Nestaas S, Stensaeth KH, Rosseland V, Kramer-Johansen J (2016) Radiological assessment of chest compression point and achievable compression depth in cardiac patients. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 24:54

39. Cha KC, Kim YJ, Shin HJ et al (2013) Optimal position for external chest compression during cardiopulmonary resuscitation: an analysis based on chest CT in patients resuscitated from cardiac arrest. *Emerg Med Clin North Am* 30:615–619
40. Papadimitriou P, Chalkias A, Mastrokostopoulos A, Kapniari I, Xanthos T (2013) Anatomical structures underneath the sternum in healthy adults and implications for chest compressions. *Am J Emerg Med* 31:549–555
41. Holmes S, Kirkpatrick ID, Zelop CM, Jassal DS (2015) MRI evaluation of maternal cardiac displacement in pregnancy: implications for cardiopulmonary resuscitation. *Am J Obstet Gynecol* 213:401e1–401e5
42. Catena E, Ottolina D, Fossali T et al (2019) Association between left ventricular outflow tract opening and successful resuscitation after cardiac arrest. *Resuscitation* 138:8–14
43. Park JB, Song IK, Lee JH, Kim EH, Kim HS, Kim JT (2016) Optimal chest compression position for patients with a single ventricle during cardiopulmonary resuscitation. *Pediatr Crit Care Med* 17:303–306
44. Considine J, Gazmuri RJ, Perkins GD et al (2020) Chest compression components (rate, depth, chest wall recoil and leaning): a scoping review. *Resuscitation* 146:188–202
45. Perkins GD, Handley AJ, Koster RW et al (2015) European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 2. Adult basic life support and automated external defibrillation. *Resuscitation* 95:81–99
46. Cheskes S, Common MR, Byers AP, Zhan C, Silver A, Morrison LJ (2015) The association between chest compression release velocity and outcomes from out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 86:38–43
47. Hwang SO, Cha KC, Kim K et al (2016) A randomized controlled trial of compression rates during cardiopulmonary resuscitation. *J Korean Med Sci* 31:1491–1498
48. Kilgannon JH, Kirchhoff M, Pierce L, Aunchman N, Trzeciak S, Roberts BW (2017) Association between chest compression rates and clinical outcomes following in-hospital cardiac arrest at an academic tertiary hospital. *Resuscitation* 110:154–161
49. Kovacs A, Vadeboncoeur TF, Stolz U et al (2015) Chest compression release velocity: association with survival and favorable neurologic outcome after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 92:107–114
50. Riyapan S, Naulnark T, Ruangsomboon O et al (2019) Improving quality of chest compression in Thai emergency department by using real-time audio-visual feedback cardio-pulmonary resuscitation monitoring. *J Med Assoc Thai* 102:245–251
51. Sainio M, Hoppu S, Huhtala H, Eilevstjonn J, Olkkola KT, Tenhunen J (2015) Simultaneous beat-to-beat assessment of arterial blood pressure and quality of cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital and in-hospital settings. *Resuscitation* 96:163–169
52. Sutton RM, Case E, Brown SP et al (2015) A quantitative analysis of out-of-hospital pediatric and adolescent resuscitation quality—a report from the ROC epistery-cardiac arrest. *Resuscitation* 93:150–157
53. Sutton RM, Reeder RW, Landis W et al (2018) Chest compression rates and pediatric in-hospital cardiac arrest survival outcomes. *Resuscitation* 130:159–166
54. Edelson DP, Abella BS, Kramer-Johansen J et al (2006) Effects of compression depth and pre-shock pauses predict defibrillation failure during cardiac arrest. *Resuscitation* 71:137–145
55. Kramer-Johansen J, Myklebust H, Wik L et al (2006) Quality of out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation with real time automated feedback: a prospective interventional study. *Resuscitation* 71:283–292
56. Kern KB, Sanders AB, Raife J, Milander MM, Otto CW, Ewy GA (1992) A study of chest compression rates during cardiopulmonary resuscitation in humans: the importance of rate-directed chest compressions. *Arch Intern Med* 152:145–149
57. Idris AH, Guffey D, Pepe PE et al (2015) Chest compression rates and survival following out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care Med* 43:840–848
58. Idris AH, Guffey D, Aufderheide TP et al (2012) Relationship between chest compression rates and outcomes from cardiac arrest. *Circulation* 125:3004–3012
59. Abella BS, Sandbo N, Vassilatos P et al (2005) Chest compression rates during cardiopulmonary resuscitation are suboptimal: a prospective study during in-hospital cardiac arrest. *Circulation* 111:428–434
60. Ornato JP, Gonzalez ER, Garnett AR, Levine RL, McClung BK (1988) Effect of cardiopulmonary resuscitation compression rate on end-tidal carbon dioxide concentration and arterial pressure in man. *Crit Care Med* 16:241–245
61. Bohn A, Weber TP, Wecker S et al (2011) The addition of voice prompts to audiovisual feedback and debriefing does not modify CPR quality or outcomes in out of hospital cardiac arrest—a prospective, randomized trial. *Resuscitation* 82:257–262
62. Stiell IG, Brown SP, Nichol G et al (2014) What is the optimal chest compression depth during out-of-hospital cardiac arrest resuscitation of adult patients? *Circulation* 130:1962–1970
63. Vadeboncoeur T, Stolz U, Panchal A et al (2014) Chest compression depth and survival in out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 85:182–188
64. Hellevoet H, Sainio M, Nevalainen R et al (2013) Deeper chest compression—more complications for cardiac arrest patients? *Resuscitation* 84:760–765
65. Stiell IG, Brown SP, Christenson J et al (2012) What is the role of chest compression depth during out-of-hospital cardiac arrest resuscitation? *Crit Care Med* 40:1192–1198
66. Babbs CF, Kemeny AE, Quan W, Freeman G (2008) A new paradigm for human resuscitation research using intelligent devices. *Resuscitation* 77:306–315
67. Sutton RM, French B, Niles DE et al (2014) 2010 American Heart Association recommended compression depths during pediatric in-hospital resuscitations are associated with survival. *Resuscitation* 85:1179–1184
68. Holt J, Ward A, Mohamed TY et al (2020) The optimal surface for delivery of CPR: A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 155:159–164
69. Perkins GD, Kocier L, Smith SC, McCulloch RA, Davies RP (2009) Compression feedback devices over estimate chest compression depth when performed on a bed. *Resuscitation* 80:79–82
70. Beesems SG, Koster RW (2014) Accurate feedback of chest compression depth on a manikin on a soft surface with correction for total body displacement. *Resuscitation* 85:1439–1443
71. Nishisaki A, Maltese MR, Niles DE et al (2012) Backboards are important when chest compressions are provided on a soft mattress. *Resuscitation* 83:1013–1020
72. Sato H, Komasa N, Ueki R et al (2011) Backboard insertion in the operating table increases chest compression depth: a manikin study. *J Anesth* 25:770–772
73. Song Y, Oh J, Lim T, Chee Y (2013) A new method to increase the quality of cardiopulmonary resuscitation in hospital. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2013:469–472
74. Lee S, Oh J, Kang H et al (2015) Proper target depth of an accelerometer-based feedback device during CPR performed on a hospital bed: a randomized simulation study. *Am J Emerg Med* 33:1425–1429
75. Oh J, Song Y, Kang B et al (2012) The use of dual accelerometers improves measurement of chest compression depth. *Resuscitation* 83:500–504
76. Ruiz de Gauna S, Gonzalez-Otero DM, Ruiz J, Gutierrez JJ, Russell JK (2016) A feasibility study for measuring accurate chest compression depth and rate on soft surfaces using two accelerometers and spectral analysis. *Biomed Res Int* 2016:6596040
77. Oh J, Chee Y, Song Y, Lim T, Kang H, Cho Y (2013) A novel method to decrease mattress compression during CPR using a mattress compression cover and a vacuum pump. *Resuscitation* 84:987–991
78. Perkins GD, Benny R, Giles S, Gao F, Tweed MJ (2003) Do different mattresses affect the quality of cardiopulmonary resuscitation? *Intensive Care Med* 29:2330–2335
79. Tweed M, Tweed C, Perkins GD (2001) The effect of differing support surfaces on the efficacy of chest compressions using a resuscitation manikin model. *Resuscitation* 51:179–183
80. Andersen LO, Isbye DL, Rasmussen LS (2007) Increasing compression depth during manikin CPR using a simple backboard. *Acta Anaesthesiol Scand* 51:747–750
81. Fischer EJ, Mayrand K, Ten Eyck RP (2016) Effect of a backboard on compression depth during cardiac arrest in the ED: a simulation study. *Am J Emerg Med* 34:274–277
82. Perkins GD, Smith CM, Augre C et al (2006) Effects of a backboard, bed height, and operator position on compression depth during simulated resuscitation. *Intensive Care Med* 32:1632–1635
83. Sanri E, Karacabey S (2019) The impact of backboard placement on chest compression quality: a mannequin study. *Prehosp Disaster med* 34:182–187
84. Putzer G, Fiala A, Braun P et al (2016) Manual versus mechanical chest compressions on surfaces of varying softness with or without backboards: a randomized, crossover manikin study. *J Emerg Med* 50:594–600e1
85. Jantti H, Silfvast T, Turpeinen A, Kiviniemi V, Uusaro A (2009) Quality of cardiopulmonary resuscitation on manikins: on the floor and in the bed. *Acta Anaesthesiol Scand* 53:1131–1137
86. Ahn HJ, Cho Y, You YH et al (2019) Effect of using a home-bed mattress on bystander chest compression during out-of-hospital cardiac arrest. *Hong Kong J Emerg Med*. <https://doi.org/10.1177/1024907919856485>
87. Olasveengen TM, de Caen AR, Mancini ME et al (2017) 2017 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations summary. *Resuscitation* 121:201–214
88. Ashoor HM, Lillie E, Zarin W et al (2017) Effectiveness of different compression-to-ventilation methods for cardiopulmonary resuscitation: a systematic review. *Resuscitation* 118:112–125

89. Garza AG, Gratton MC, Salomone JA, Lindholm D, McElroy J, Archer R (2009) Improved patient survival using a modified resuscitation protocol for out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 119:2597–2605
90. Olasveengen TM, de Caen AR, Mancini ME et al (2017) 2017 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations summary. *Circulation* 136:e424–e440
91. Ma MH, Lu TC, Ng JC et al (2007) Evaluation of emergency medical dispatch in out-of-hospital cardiac arrest in Taipei. *Resuscitation* 73:236–245
92. Bohm K, Stalhandske B, Rosenqvist M, Ulfvarson J, Hollenberg J, Svensson L (2009) Tuition of emergency medical dispatchers in the recognition of agonal respiration increases the use of telephone assisted CPR. *Resuscitation* 80:1025–1028
93. Roppolo LP, Westfall A, Pepe PE et al (2009) Dispatcher assessments for agonal breathing improve detection of cardiac arrest. *Resuscitation* 80:769–772
94. Dami F, Fuchs V, Praz L, Vader JP (2010) Introducing systematic dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation (telephone-CPR) in a non-Advanced Medical Priority Dispatch System (AMPDS): implementation process and costs. *Resuscitation* 81:848–852
95. Lewis M, Stubbs BA, Eisenberg MS (2013) Dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation: time to identify cardiac arrest and deliver chest compression instructions. *Circulation* 128:1522–1530
96. Nichol G, Leroux B, Wang H et al (2015) Trial of continuous or interrupted chest compressions during CPR. *N Engl J Med* 373:2203–2214
97. Gold LS, Fahrenbruch CE, Rea TD, Eisenberg MS (2010) The relationship between time to arrival of emergency medical services (EMS) and survival from out-of-hospital ventricular fibrillation cardiac arrest. *Resuscitation* 81:622–625
98. Wik L, Hansen TB, Fylling F et al (2003) Delaying defibrillation to give basic cardiopulmonary resuscitation to patients with out-of-hospital ventricular fibrillation: a randomized trial. *JAMA* 289:1389–1395
99. Baker PW, Conway J, Cotton C et al (2008) Defibrillation or cardiopulmonary resuscitation first for patients with out-of-hospital cardiac arrests found by paramedics to be in ventricular fibrillation? A randomized control trial. *Resuscitation* 79:424–431
100. Jacobs IG, Finn JC, Oxer HF, Jelinek GA (2005) CPR before defibrillation in out-of-hospital cardiac arrest: a randomized trial. *Emerg Med Australas* 17:39–45
101. Ma MH, Chiang WC, Ko PC et al (2012) A randomized trial of compression first or analyze first strategies in patients with out-of-hospital cardiac arrest: results from an Asian community. *Resuscitation* 83:806–812
102. Stiell IG, Nichol G, Leroux BG et al (2011) Early versus later rhythm analysis in patients with out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 365:787–797
103. Sunde K, Jacobs I, Deakin CD et al (2010) Part 6: Defibrillation: 2010 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 81(Suppl 1):e71–e85
104. Jacobs I, Sunde K, Deakin CD et al (2010) Part 6: Defibrillation: 2010 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations. *Circulation* 122:S325–37
105. Semeraro F, Greif R, Böttiger BW et al (2021) Lebensrettende Systeme Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 Not Rett Med. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00889-7>
106. Hostler D, Everson-Stewart S, Rea TD et al (2011) Effect of real-time feedback during cardiopulmonary resuscitation outside hospital: prospective, cluster-randomised trial. *BMJ* 342:d512
107. Couper K, Kimani PK, Abella BS et al (2015) The system-wide effect of real-time audiovisual feedback and postevent debriefing for in-hospital cardiac arrest: the cardiopulmonary resuscitation quality improvement initiative. *Crit Care Med* 43:2321–2331
108. Sainio M, Kamarainen A, Huhtala H et al (2013) Real-time audiovisual feedback system in a physician-staffed helicopter emergency medical service in Finland: the quality results and barriers to implementation. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 21:50
109. Bobrow BJ, Vadeboncoeur TF, Stolz U et al (2013) The influence of scenario-based training and real-time audiovisual feedback on out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation quality and survival from out-of-hospital cardiac arrest. *Ann Emerg Med* 62:47–56e1
110. Abella BS, Edelson DP, Kim S et al (2007) CPR quality improvement during in-hospital cardiac arrest using a real-time audiovisual feedback system. *Resuscitation* 73:54–61
111. Agerskov M, Hansen MB, Nielsen AM, Moller TP, Wissenberg M, Rasmussen LS (2017) Return of spontaneous circulation and long-term survival according to feedback provided by automated external defibrillators. *Acta Anaesthesiol Scand* 61:1345–1353
112. Goharani R, Vahedian-Azimi A, Farzanegan B et al (2019) Real-time compression feedback for patients with in-hospital cardiac arrest: a multi-center randomized controlled clinical trial. *J Intensive Care* 7:5
113. Vahedian-Azimi A, Hajiesmaeili M, Amiravadkouhi A et al (2016) Effect of the Cardio First Angel device on CPR indices: a randomized controlled clinical trial. *Crit Care* 20:147
114. Chiang WC, Chen WJ, Chen SY et al (2005) Better adherence to the guidelines during cardiopulmonary resuscitation through the provision of audio-prompts. *Resuscitation* 64:297–301
115. Olasveengen TM, Mancini ME, Perkins GD et al (2020) Adult basic life support: international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A35–A79
116. White L, Rogers J, Bloomingdale M et al (2010) Dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation: risks for patients not in cardiac arrest. *Circulation* 121:91–97
117. Haley KB, Lerner EB, Pirralo RG, Croft H, Johnson A, Uihlein M (2011) The frequency and consequences of cardiopulmonary resuscitation performed by bystanders on patients who are not in cardiac arrest. *Prehosp Emerg Care* 15:282–287
118. Moriwaki Y, Sugiyama M, Tahara Y et al (2012) Complications of bystander cardiopulmonary resuscitation for unconscious patients without cardiopulmonary arrest. *J Emerg Trauma Shock* 5:3–6
119. Tanaka Y, Nishi T, Takase K et al (2014) Survey of a protocol to increase appropriate implementation of dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 129:1751–1760
120. Lu TC, Chang YT, Ho TW et al (2019) Using a smartwatch with real-time feedback improves the delivery of high-quality cardiopulmonary resuscitation by healthcare professionals. *Resuscitation* 140:16–22
121. Park SS (2014) Comparison of chest compression quality between the modified chest compression method with the use of smartphone application and the standardized traditional chest compression method during CPR. *Technol Health Care* 22:351–358
122. Ringh M, Rosenqvist M, Hollenberg J et al (2015) Mobile-phone dispatch of laypersons for CPR in out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 372:2316–2325
123. Lee SY, Shin SD, Lee YJ et al (2019) Text message alert system and resuscitation outcomes after out-of-hospital cardiac arrest: a before-and-after population-based study. *Resuscitation* 138:198–207
124. Scquizzato T, Pallanch O, Belletti A et al (2020) Enhancing citizens response to out-of-hospital cardiac arrest: A systematic review of mobile-phone systems to alert citizens as first responders. *Resuscitation* 152:16–25
125. Andelius L, Malta Hansen C, Lippert FK et al (2020) Smartphone activation of citizen responders to facilitate defibrillation in out-of-hospital cardiac arrest. *J Am Coll Cardiol* 76:43–53
126. Lin YY, Chiang WC, Hsieh MJ, Sun JT, Chang YC, Ma MH (2018) Quality of audio-assisted versus video-assisted dispatcher-instructed bystander cardiopulmonary resuscitation: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 123:77–85
127. Lee SY, Song KJ, Shin SD, Hong KJ, Kim TH (2020) Comparison of the effects of audio-instructed and video-instructed dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation on resuscitation outcomes after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 147:12–20
128. Kim C, Choi HJ, Moon H et al (2019) Prehospital advanced cardiac life support by EMT with a smartphone-based direct medical control for nursing home cardiac arrest. *Am J Emerg Med* 37:585–589
129. Gulshan V, Peng L, Coram M et al (2016) Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. *JAMA* 316:2402–2410
130. Rajkomar A, Oren E, Chen K et al (2018) Scalable and accurate deep learning with electronic health records. *NPJ Digit Med* 1:18
131. Blomberg SN, Folke F, Ersboll AK et al (2019) Machine learning as a supportive tool to recognize cardiac arrest in emergency calls. *Resuscitation* 138:322–329
132. Chan J, Rea T, Gollakota S, Sunshine JE (2019) Contactless cardiac arrest detection using smart devices. *NPJ Digit Med* 2:52
133. Kwon JM, Jeon KH, Kim HM et al (2019) Deep-learning-based out-of-hospital cardiac arrest prognostic system to predict clinical outcomes. *Resuscitation* 139:84–91
134. Al-Dury N, Ravn-Fischer A, Hollenberg J et al (2020) Identifying the relative importance of predictors of survival in out of hospital cardiac arrest: a machine learning study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 28:60
135. Claesson A, Backman A, Ringh M et al (2017) Time to delivery of an automated external defibrillator using a drone for simulated out-of-hospital cardiac arrests vs emergency medical services. *JAMA* 317:2332–2334

136. Boutilier JJ, Brooks SC, Janmohamed A et al (2017) Optimizing a drone network to deliver automated external defibrillators. *Circulation* 135:2454–2465
137. Vogele A, Strohle M, Paal P, Rauch S, Brugger H (2020) Can drones improve survival rates in mountain areas, providing automated external defibrillators? *Resuscitation* 146:277–278
138. Sanfridsson J, Sparrevik J, Hollenberg J et al (2019) Drone delivery of an automated external defibrillator—a mixed method simulation study of bystander experience. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 27:40
139. Fingerhut LA, Cox CS, Warner M (1998) International comparative analysis of injury mortality. Findings from the ICE on injury statistics. International Collaborative Effort on Injury Statistics. *Adv Data* 303:1–20
140. Statista.com. Number of deaths due to choking in the United States from 1945 to 2018. Statista. <https://www.statista.com/statistics/527321/deaths-due-to-choking-in-the-us/>
141. Office for National Statistics. Choking related deaths in England and Wales, 2014 to 2018. Office for National Statistics. <https://www.ons.gov.uk/file?uri=/peoplepopulationandcommunity/birthsdeathsandmarriages/deaths/adhocs/009342chokingrelateddeathsregisteredinenglandandwales2014to2017/chokingrelateddeathsenglandwales201417.xls>
142. Foltran F, Ballali S, Passali FM et al (2012) Foreign bodies in the airways: a meta-analysis of published papers. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 76(Suppl 1):S12–S19
143. Hemsley B, Steel J, Sheppard JJ, Malandraki GA, Bryant L, Balandin S (2019) Dying for a meal: an integrative review of characteristics of choking incidents and recommendations to prevent fatal and nonfatal choking across populations. *Am J Speech Lang Pathol* 28:1283–1297
144. Wong SC, Tariq SM (2011) Cardiac arrest following foreign-body aspiration. *respir care* 56:527–529
145. Igarashi Y, Norii T, Sung-Ho K et al (2019) New classifications for Life-threatening foreign body airway obstruction. *Am J Emerg Med* 37:2177–2181
146. Couper K, Hassan AA, Ohri V et al (2020) Removal of foreign body airway obstruction: a systematic review of interventions. *Resuscitation* 156:174–181
147. Igarashi Y, Yokobori S, Yoshino Y, Masuno T, Miyauchi M, Yokota H (2017) Prehospital removal improves neurological outcomes in elderly patient with foreign body airway obstruction. *Am J Emerg Med* 35:1396–1399
148. Kinoshita K, Azuhata T, Kawano D, Kawahara Y (2015) Relationships between pre-hospital characteristics and outcome in victims of foreign body airway obstruction during meals. *Resuscitation* 88:63–67
149. Redding JS (1979) The choking controversy: critique of evidence on the Heimlich maneuver. *Crit Care Med* 7:475–479
150. Vilke GM, Smith AM, Ray LU, Steen PJ, Murrin PA, Chan TC (2004) Airway obstruction in children aged less than 5 years: the prehospital experience. *Prehosp Emerg Care* 8:196–199
151. Langhelle A, Sunde K, Wik L, Steen PA (2000) Airway pressure with chest compressions versus Heimlich manoeuvre in recently dead adults with complete airway obstruction. *Resuscitation* 44:105–108
152. Guildner CW, Williams D, Subitch T (1976) Airway obstructed by foreign material: the Heimlich maneuver. *JACEP* 5:675–677
153. Ruben H, Macnaughton FI (1978) The treatment of food-choking. *Practitioner* 221:725–729
154. Blain H, Bonnafoos M, Grovalet N, Jonquet O, David M (2010) The table maneuver: a procedure used with success in four cases of unconscious choking older subjects. *Am J Med* 123:1150e7–1150e9
155. Pavitt MJ, Swanton LL, Hind M et al (2017) Choking on a foreign body: a physiological study of the effectiveness of abdominal thrust manoeuvres to increase thoracic pressure. *Thorax* 72:576–578

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:406–446
<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00893-x>
 Angenommen: 20. April 2021
 Online publiziert: 8. Juni 2021
 © European Resuscitation Council (ERC),
 German Resuscitation Council (GRC), Austrian
 Resuscitation Council (ARC) 2021



Jasmeet Soar¹ · Bernd W. Böttiger² · Pierre Carli³ · Keith Couper^{4,5} ·
 Charles D. Deakin^{6,7} · Therese Djärv^{8,9} · Carsten Lott¹⁰ · Theresa Olasveengen¹¹ ·
 Peter Paal¹² · Tommaso Pellis¹³ · Gavin D. Perkins¹⁴ · Claudio Sandroni^{15,16} ·
 Jerry P. Nolan¹⁷

¹ Southmead Hospital, North Bristol NHS Trust, Bristol, Großbritannien; ² Department of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine, Universitätsklinikum Köln, Köln, Deutschland; ³ SAMU de Paris, Center Hospitalier Universitaire Necker Enfants Malades, Assistance Publique Hôpitaux de Paris, and Université Paris Descartes, Paris, Frankreich; ⁴ Critical Care Unit, University Hospitals Birmingham NHS Foundation Trust, Birmingham, Großbritannien; ⁵ Warwick Medical School, University of Warwick, Coventry, Großbritannien; ⁶ University Hospital Southampton NHS Foundation Trust, Southampton, Großbritannien; ⁷ South Central Ambulance Service NHS Foundation Trust, Otterbourne, Großbritannien; ⁸ Dept of Acute and Reparative Medicine, Karolinska University Hospital, Stockholm, Schweden; ⁹ Department of Medicine Solna, Karolinska Institutet, Stockholm, Schweden; ¹⁰ Department of Anesthesiology, University Medical Center, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Mainz, Deutschland; ¹¹ Department of Anesthesiology, Oslo University Hospital and Institute of Clinical Medicine, University of Oslo, Oslo, Norwegen; ¹² Department of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine, Hospitallers Brothers Hospital, Paracelsus Medical University, Salzburg, Österreich; ¹³ Department of Anaesthesia and Intensive Care, Azienda Sanitaria Friuli Occidentale, Pordenone, Italien; ¹⁴ Warwick Medical School and University Hospitals Birmingham NHS Foundation Trust, University of Warwick, Coventry, Großbritannien; ¹⁵ Department of Intensive Care, Emergency Medicine and Anaesthesiology, Fondazione Policlinico Universitario A. Gemelli-IRCCS, Rom, Italien; ¹⁶ Institute of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine, Università Cattolica del Sacro Cuore, Rom, Italien; ¹⁷ Warwick Medical School, Coventry, Großbritannien, Consultant in Anaesthesia and Intensive Care Medicine Royal United Hospital, University of Warwick, Bath, Großbritannien

Erweiterte lebensrettende Maßnahmen für Erwachsene

Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Einführung

Die erweiterten lebensrettenden Maßnahmen (ALS) umfassen die fortgeschrittenen Interventionen, die auf die lebensrettenden Basismaßnahmen (BLS) und die Verwendung eines automatisierten externen Defibrillators (AED) folgen. Die lebensrettenden Basismaßnahmen und die Verwendung von AED werden in Abschn. „Basismaßnahmen zur Wiederbelebung Erwachsener“ behandelt.

Die Leitlinien wurden mit dem generischen Maskulin übersetzt. Bitte beachten Sie, dass alle Personenbezeichnungen gleichermaßen für beide Geschlechter gelten.

Die Übersetzung beruht auf der Version vom 29.01.2021. Bis zur Publikation des englischen Originals in *Resuscitation* wurden in manchen Kapiteln Literaturstellen korrigiert oder andere Änderungen vorgenommen, die den Sinn nicht wesentlich ändern.

Die lebensrettenden Basismaßnahmen [1] werden während der ALS-Interventionen fortgesetzt und überschneiden sich mit diesen.

Dieser ALS-Abschnitt umfasst die Prävention und Behandlung von Kreislaufstillstand innerhalb (IHCA) und außerhalb (OHCA) des Krankenhauses, den ALS-Algorithmus, manuelle Defibrillation, Atemwegsmanagement während der kardiopulmonalen Wiederbelebung (CPR), Medikamente und deren Verabreichung während der Wiederbelebung und die Behandlung von Periarrest-Arrhythmien.

Diese Leitlinien basieren auf dem Konsens des Internationalen Komitees für Wiederbelebung (ILCOR) 2020 über Empfehlungen zu Wissenschaft und Behandlung (Consensus on Science with Treatment Recommendations, CoSTR) für ALS [2]. Für diese ERC-Leitlinien

wurden die ILCOR-Empfehlungen durch gezielte Literaturrecherchen ergänzt, die von den Verfassern der ERC-Leitlinien für Themen durchgeführt wurden, die im ILCOR CoSTR 2020 nicht überprüft wurden. Bei Bedarf wurden die Leitlinien durch den Expertenkonsens der Mitglieder der Autorengruppe angepasst.

Das ERC hat auch Leitlinien zum Kreislaufstillstand bei Patienten mit Coronaviruserkrankung 2019 (COVID-19) erstellt [3], die auf einem ILCOR CoSTR und einer systematischen Literaturrecherche basieren [4, 5]. Unser Wissen über die optimale Behandlung von Patienten mit COVID-19 und das Risiko der Virusübertragung und Infektion für Rettungskräfte ist limitiert und entwickelt sich stetig weiter. Bitte überprüfen Sie die Leitlinien des ERC und die nationalen Leitlinien auf neueste

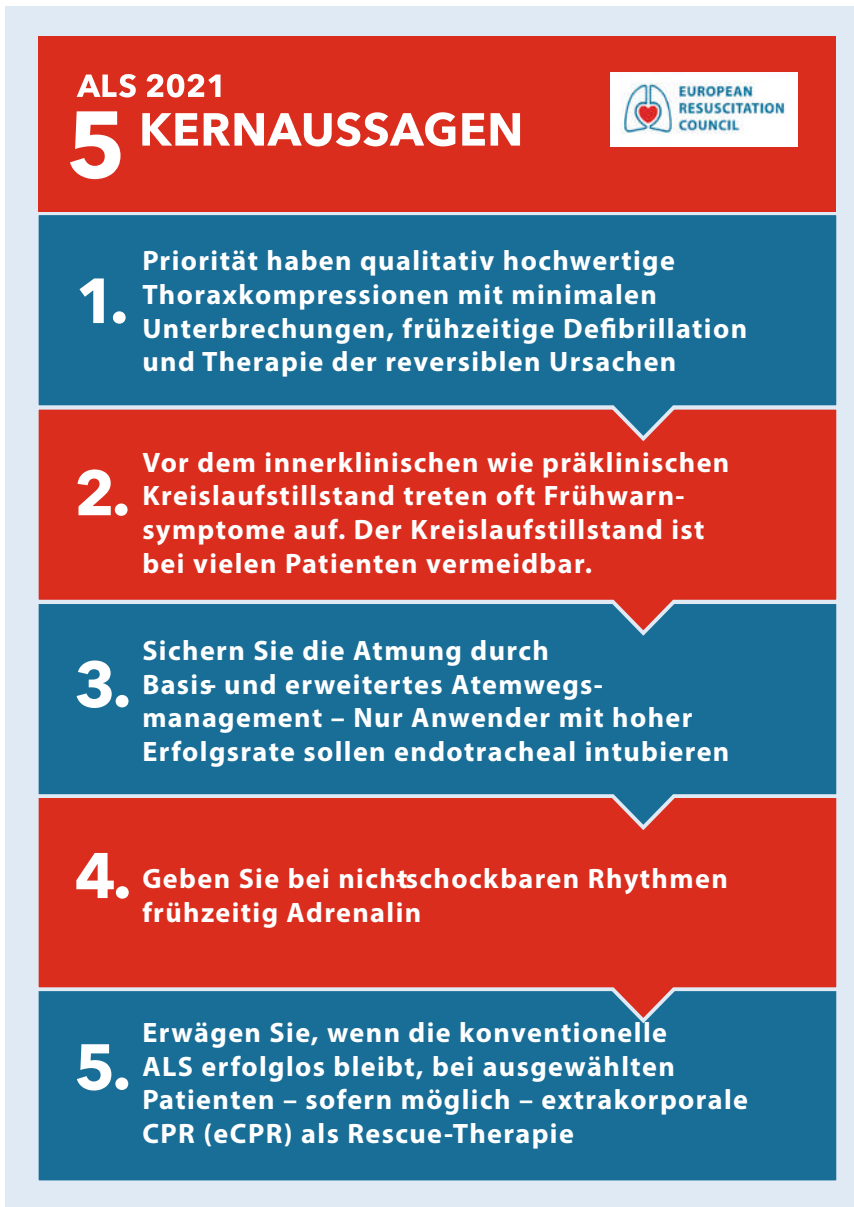


Abb. 1 ▲ Advanced Life Support-Infografik

Empfehlungen sowie die lokalen Leitlinien für Vorsichtsmaßnahmen für die Behandlung und die Rettung.

Die Mitglieder der ALS-Autorengruppe haben Leitlinien ausgearbeitet und vereinbart, welche zwischen dem 21. Oktober und dem 5. November 2020 zur öffentlichen Stellungnahme publiziert wurden. 25 Personen aus 11 Ländern gaben 109 Stellungnahmen ab. Die Überprüfung dieser Kommentare führte zu 46 Änderungen. Die Leitlinie wurde der Generalversammlung des ERC am 10. Dezember 2020 vorgelegt und von dieser genehmigt. Die für die Leitlinienentwicklung

verwendete Methodik wird in der Zusammenfassung dargestellt. [6].

Zusammenfassung der wichtigsten Änderungen

- Es gibt keine wesentlichen Änderungen in den 2020-ALS-Leitlinien für Erwachsene.
- Es gibt eine zunehmende Erkenntnis, dass Patienten mit Kreislaufstillstand innerhalb und außerhalb des Krankenhauses Warnzeichen aufweisen und dass viele dieser Kreislaufstillstände vermeidbar sein können.

- Hochwertige Thoraxkompressionen mit minimaler Unterbrechung und frühzeitiger Defibrillation bleiben Priorität.
- Beginnen Sie während der Reanimation mit den grundlegenden Atemwegstechniken und gehen Sie entsprechend den Fähigkeiten des Retters schrittweise vor, bis eine effektive Beatmung erreicht ist. Wenn ein fortgeschrittener Atemweg erforderlich ist, soll die Intubation nur durch Rettungskräfte mit einer hohen Erfolgsrate in der endotrachealen Intubation durchgeführt werden. Nach Konsens der Experten ist eine hohe Erfolgsrate gegeben, wenn der Intubationserfolg bei zwei Intubationsversuchen über 95 % liegt.
- Wenn Adrenalin verwendet wird, soll es beim nichtschockbaren Herzrhythmus und nach 3 Defibrillationsversuchen bei schockbarem Herzrhythmus so früh wie möglich angewendet werden.
- Die Leitlinie erkennt die zunehmende Rolle des Point-of-Care-Ultraschalls (POCUS) bei der Periarrest-Versorgung zur Diagnosesicherung an, betont jedoch, dass ein erfahrener Anwender erforderlich ist und dass Unterbrechungen während der Thoraxkompression minimiert werden müssen.
- Die Leitlinie spiegelt die zunehmende Evidenz für eine extrakorporale CPR (eCPR) als Rettungstherapie für ausgewählte Patienten mit Kreislaufstillstand wider, wenn herkömmliche ALS-Maßnahmen fehlschlagen oder zur Erleichterung spezifische Interventionen (z. B. Koronarangiographie und perkutane Koronarintervention [PCI], Thrombektomie bei massiver Lungenembolie, Wiedererwärmung nach hypothermem Kreislaufstillstand) in Situationen, in denen sie implementiert werden kann.
- Diese ERC-Leitlinien folgen europäischen und internationalen Leitlinien für die Behandlung von Periarrest-Arhythmien.

Die wichtigsten Aussagen aus diesem Abschnitt sind in **Abb. 1** dargestellt.

Kurz gefasste Leitlinien für den klinischen Alltag

Prävention von Kreislaufstillstand im Krankenhaus

- Das ERC unterstützt die gemeinsame Entscheidungsfindung und die erweiterte Pflegeplanung, bei der Reanimationsentscheidungen in Notfallbehandlungspläne integriert werden, um die Klarheit der Behandlungsziele zu erhöhen und zu verhindern, dass neben der CPR versehentlich andere indizierter Behandlungen vernachlässigt werden. Diese Pläne sollen konsistent aufgezeichnet werden (siehe Abschn. „Ethik der Reanimation und Entscheidungen am Lebensende“ [7]).
- Krankenhäuser sollen ein Frühwarnsystem zur frühzeitigen Identifizierung von Patienten verwenden, welche schwer krank sind oder das Risiko einer klinischen Verschlechterung haben.
- Krankenhäuser sollen das Personal in der Erkennung, Überwachung und sofortigen Betreuung von akut erkrankten Patienten schulen.
- Krankenhäuser sollen alle Mitarbeiter darin bestärken um Hilfe zu rufen, wenn sie einen Patienten identifizieren, bei dem das Risiko einer physiologischen Verschlechterung besteht. Dies schließt Hilferufe ein, die auf klinischen Bedenken beruhen und nicht nur auf Vitalfunktionen.
- Krankenhäuser sollen eine klare Richtlinie für die klinische Reaktion auf abnormale Vitalzeichen und kritische Erkrankungen haben. Dies kann ein Intensivteam und/oder ein Notfallteam (z. B. ein medizinisches Notfallteam, ein Rapid-Response-Team) umfassen.
- Das Krankenhauspersonal soll strukturierte Kommunikationsmittel verwenden, um eine effektive Übergabe von Informationen zu gewährleisten.
- Die Patienten sollen in einem klinischen Bereich versorgt werden, der über die für den Schweregrad ihrer Erkrankung angemessene Personalausstattung, Fähigkeiten und Einrichtungen verfügt.

- Krankenhäuser sollen Ereignisse mit Kreislaufstillstand überprüfen, um Möglichkeiten zur Systemverbesserung zu ermitteln und wichtige Lernpunkte mit dem Krankenhauspersonal zu teilen.

Prävention eines Kreislaufstillstands außerhalb des Krankenhauses

- Symptome wie Synkopen (insbesondere während Belastung, im Sitzen oder auf dem Rücken), Herzklopfen, Schwindel und plötzliche Atemnot, die mit einer Arrhythmie vereinbar sind, sollen untersucht werden.
- Auch scheinbar junge Erwachsene, die einen plötzlichen Herztod erleiden, können Vorzeichen und Symptome aufweisen (z. B. Synkope/Präsynkope, Brustschmerzen und Herzrasen), die professionelle Helfer in Alarmbereitschaft versetzen und sie dazu bewegen sollen, sofort fachkundige Hilfe hinzuzuziehen, um einem Kreislaufstillstand vorzubeugen.
- Junge Erwachsene, welche die charakteristischen Symptome einer arrhythmischen Synkope zeigen, sollen einer Abklärung durch einen kardiologischen Spezialisten unterzogen werden, die ein EKG, in den meisten Fällen auch ein Echokardiogramm und eine Ergometrie beinhalten soll.
- Die systematische Abklärung des Risikos in dafür spezialisierten Kliniken wird v. a. für Personen empfohlen, die in der Familie junge Opfer eines PHT beklagen, oder für Patienten mit einer bekannten Herzstörung, aus der ein erhöhtes PHT-Risiko erwächst.
- Die Identifizierung von Personen mit Erbkrankheiten und das Screening von Familienmitgliedern kann dazu beitragen, Todesfälle bei jungen Menschen mit erblichen Herzkrankheiten zu verhindern.
- Befolgen Sie die aktuellen Richtlinien der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie (ESC) für die Diagnose und Behandlung von Synkopen.

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:406–446
<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00893-x>
 © European Resuscitation Council (ERC), German Resuscitation Council (GRC), Austrian Resuscitation Council (ARC) 2021

J. Soar · B. W. Böttiger · P. Carli · K. Couper · C. D. Deakin · T. Djäv · C. Lott · T. Olasveengen · P. Paal · T. Pellis · G. D. Perkins · C. Sandroni · J. P. Nolan

Erweiterte lebensrettende Maßnahmen für Erwachsene. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Zusammenfassung

Diese Leitlinien des Europäischen Reanimationsrates für erweiterte lebensrettende Maßnahmen basieren auf dem Internationalen Konsens 2020 zur Wissenschaft in kardiopulmonaler Wiederbelebung mit Behandlungsempfehlungen. Dieser Abschnitt enthält Leitlinien zur Prävention und zur ALS (Advanced Life Support)-Behandlung von Kreislaufstillstand innerhalb und außerhalb des Krankenhauses.

Schlüsselwörter

Frühwarnsymptome · Behandlungsempfehlungen · Atemwegsmanagement · Extrakorporale CPR (eCPR) · Mechanische Thoraxkompression

Adult advanced life support. European Resuscitation Council Guidelines 2021

Abstract

These European Resuscitation Council Advanced Life Support guidelines are based on the 2020 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations. This section provides guidelines on the prevention of and ALS treatments for both in-hospital cardiac arrest and out-of-hospital cardiac arrest.

Keywords

Premonitory signs · Treatment Recommendations · Airway management · Extracorporeal CPR (eCPR) · Mechanical chest compression devices

Behandlung des Kreislaufstillstands im Krankenhaus

- Krankenhaussysteme sollen darauf abzielen, einen Kreislaufstillstand zu erkennen, die CPR sofort zu starten und gegebenenfalls schnellstmöglich (< 3 min) eine Defibrillation durchzuführen.
- Alle Krankenhausmitarbeiter sollen in der Lage sein, einen Kreislaufstillstand schnell zu erkennen, um Hilfe zu rufen, die Reanimation zu starten und eine Defibrillation durchzuführen (AED anschließen und den AED-Anweisungen folgen oder einen manuellen Defibrillator verwenden).
- Europäische Krankenhäuser sollen eine Standardtelefonnummer „Cardiac Arrest Call“ (2222) verwenden.
- Krankenhäuser sollen ein Wiederbelebungsteam haben, das sofort auf innerklinische Kreislaufstillstände reagiert.
- Das Reanimationsteam soll Teammitglieder umfassen, die einen akkreditierten ALS-Kurs für Erwachsene abgeschlossen haben.
- Die Mitglieder des Reanimationsteams sollen über die wichtigsten Fähigkeiten und Kenntnisse verfügen, um einen Kreislaufstillstand zu behandeln, einschließlich manueller Defibrillation, erweiterten Atemwegsmanagements, intravenösen Zugangs, intraossären Zugangs sowie Identifizierung und Behandlung reversibler Ursachen.
- Das Reanimationsteam soll sich zu Beginn jeder Schicht treffen, um die Teamrollen vorzustellen und zuzuweisen.
- Krankenhäuser sollen Reanimationsequipment standardisieren.

ALS-Überlegungen bei präklinischem Kreislaufstillstand

- Starten Sie die erweiterten Reanimationsmaßnahmen so früh wie möglich.
- Rettungsdienste sollen die Einführung von Kriterien für die Unterlassung und den Abbruch der Reanimation unter Berücksichtigung des spezifischen lokalen rechtlichen,

organisatorischen und kulturellen Kontexts in Betracht ziehen (siehe Abschn. „Ethik der Reanimation und Entscheidungen am Lebensende“ [7]).

- Die Systeme sollen Kriterien für die Unterlassung und den Abbruch der Reanimation definieren und sicherstellen, dass die Kriterien vor Ort validiert werden (siehe Abschn. „Ethik der Reanimation und Entscheidungen am Lebensende“ [7]).
- Rettungsdienste sollen die Exposition des Personals gegenüber Wiederbelebung überwachen. Eine geringe Exposition soll angegangen werden, um die Erfahrung des Rettungsteams bei der Wiederbelebung zu verbessern.
- Erwachsene Patienten mit nichttraumatischem prähospitalen Kreislaufstillstand sollen für den Transport zu einem Reanimationszentrum gemäß den lokalen Protokollen in Betracht gezogen werden (siehe Systeme, die Leben retten – Abschn. „Basismaßnahmen zur Wiederbelebung Erwachsener“ [1]).

Manuelle Defibrillation

Defibrillationsstrategie

- Setzen Sie die Reanimation fort, während der Defibrillator geholt und die Elektroden angelegt werden.
- Wenn angebracht, verabreichen Sie einen Schock so früh wie möglich.
- Geben Sie Schocks mit minimaler Unterbrechung der Thoraxkompression ab und minimieren Sie die Pause vor und nach dem Schock. Dies wird erreicht, indem die Thoraxkompressionen während des Aufladens des Defibrillators fortgesetzt wird, die Defibrillation mit einer Unterbrechung der Thoraxkompression von weniger als 5 s durchgeführt wird und dann die Thoraxkompression sofort wieder aufgenommen wird.
- Setzen Sie die Thoraxkompression sofort nach der Schockabgabe fort. Wenn es eine Kombination aus klinischen und physiologischen Anzeichen für die Rückkehr des spontanen Kreislaufs (ROSC) gibt, wie z. B. Aufwachen, zielgerichtete

Bewegung, arterielle Pulswelle oder ein starker Anstieg des endtidalen Kohlendioxids (etCO₂), sollen Sie erwägen, die Herzdruckmassage für eine Rhythmusanalyse und ggf. eine Pulskontrolle zu unterbrechen.

Sichere und wirksame Defibrillation

- Minimieren Sie das Brandrisiko, indem Sie Sauerstoffmasken oder Nasenkanülen abnehmen und diese mindestens 1 m vom Brustkorb des Patienten entfernt ablegen. Beatmungssysteme sollen angeschlossen bleiben.
- Die anterolaterale Elektrodenposition ist die Position der Wahl für die anfängliche Elektrodenplatzierung. Stellen Sie sicher, dass die apikale (laterale) Elektrode richtig positioniert ist (Mittellinie, auf Höhe der V6-Elektrodenposition), d. h. unterhalb der Achselhöhle.
- Platzieren Sie bei Patienten mit einem implantierbaren Gerät die Elektrode > 8 cm vom Gerät entfernt oder verwenden Sie eine alternative Elektrodenposition. Ziehen Sie auch eine alternative Elektrodenposition in Betracht, wenn sich der Patient in Bauchlage (biaxillär) oder in einem refraktären schockbaren Rhythmus befindet (siehe unten).
- Bei der Verwendung von mechanischen Reanimationshilfen kann ein Schock sicher ohne Unterbrechung der Thoraxkompression abgegeben werden.
- Bei manueller Thoraxkompression ist eine „Hands-on“-Defibrillation, selbst wenn Handschuhe getragen werden, ein Risiko für den Retter.

Energieniveaus und Anzahl der Schocks

- Verwenden Sie, wo angebracht, Einzelschocks, gefolgt von einem 2-minütigen Zyklus mit Thoraxkompressionen.
- Die Verwendung von bis zu drei aufeinanderfolgenden Schocks kann nur in Betracht gezogen werden, wenn anfängliches Kammerflimmern/pulslose ventrikuläre Tachykardie (VF/pVT) während eines beobach-

teten Kreislaufstillstands mit einem sofort verfügbaren Defibrillator auftritt, z. B. während der Herzkatheteruntersuchung oder in einem Überwachungsbereich, z. B. Intensivstation.

- Die Energieniveaus des Defibrillationsschocks sind gegenüber den Richtlinien von 2015 unverändert:
 - Geben Sie bei biphasischen Wellenformen (geradlinig biphasisch oder biphasisch abgestumpft exponentiell) den ersten Schock mit einer Energie von mindestens 150 J ab.
 - Bei gepulsten biphasischen Wellenformen geben Sie den ersten Schock mit 120–150 J ab.
- Wenn dem Helfer die empfohlenen Energieeinstellungen des Defibrillators nicht bekannt sind, verwenden Sie bei einem Erwachsenen die höchste Energieeinstellung für alle Schocks.

Wiederkehrendes oder refraktäres Kammerflimmern

- Erwägen Sie die Erhöhung der Energie nach einem fehlgeschlagenen Schock und bei Patienten mit wiederkehrendem Kammerflimmern.
- Erwägen Sie bei refraktärem Kammerflimmern die Verwendung einer alternativen Elektrodenposition (z. B. anterior-posterior).
- Verwenden Sie keine duale (doppelte) sequenzielle Defibrillation für refraktäres Kammerflimmern außerhalb einer Forschungsumgebung.

Atemwege und Beatmung

- Beginnen Sie während der Reanimation mit den grundlegenden Atemwegstechniken und gehen Sie entsprechend den Fähigkeiten des Retters schrittweise vor, bis eine effektive Beatmung erreicht ist.
- Wenn ein fortgeschrittener Atemweg erforderlich ist, soll die Intubation nur durch Rettungskräfte mit einer hohen Erfolgsrate in der endotrachealen Intubation durchgeführt werden. Der Konsens der Experten ist, dass eine hohe Erfolgsrate inner-

halb von zwei Intubationsversuchen über 95 % liegt.

- Streben Sie eine Unterbrechung der Thoraxkompressionen von weniger als 5 s für eine endotracheale Intubation an.
- Verwenden Sie direkte oder Videolaryngoskopie für die Intubation gemäß den lokalen Protokollen und der Erfahrung der Retter.
- Verwenden Sie die Kapnographie, um die Position des Endotrachealtubus zu bestätigen.
- Geben Sie während der CPR die höchstmögliche Sauerstoffkonzentration.
- Geben Sie jeder Beatmung mehr als 1 s, um ein sichtbares Anheben des Brustkorbs zu erreichen.
- Sobald ein Endotrachealtubus oder ein supraglottischer Atemweg (SGA) eingeführt wurde, beatmen Sie die Lunge mit einer Rate von 10 min^{-1} und setzen Sie die Thoraxkompression ohne Beatmungspausen fort. Wenn bei einem SGA eine Undichtigkeit zu einer unzureichenden Beatmung führt, unterbrechen Sie die Kompression für die Beatmung mit einem Kompressions-Beatmungsverhältnis von 30:2.

Medikamente und Infusionen

Gefäßzugang

- Versuchen Sie zuerst, einen intravenösen (IV) Zugang zu legen, um die Medikamentengabe bei Erwachsenen mit Kreislaufstillstand zu ermöglichen.
- Ziehen Sie einen intraossären (IO) Zugang in Betracht, wenn Versuche eines IV-Zugangs nicht erfolgreich sind oder ein IV-Zugang nicht möglich ist.

Vasopressoren

- Geben Sie erwachsenen Patienten mit Kreislaufstillstand und nichtschockbarem Rhythmus so bald wie möglich 1 mg Adrenalin IV (IO).
- Bei erwachsenen Patienten mit Kreislaufstillstand und schockbarem Rhythmus geben Sie 1 mg Adrenalin IV (IO) nach dem 3. Schock.

- Wiederholen Sie die Gabe von 1 mg Adrenalin IV (IO) alle 3–5 min während der Fortführung der erweiterten Reanimationsmaßnahmen.

Antiarrhythmika

- Geben Sie 300 mg Amiodaron IV (IO) bei erwachsenen Patienten mit Kreislaufstillstand und fortbestehendem VF/pVT nach drei Defibrillationsversuchen.
- Geben Sie eine weitere Dosis von 150 mg Amiodaron (IO) bei erwachsenen Patienten mit Kreislaufstillstand und fortbestehendem VF/pVT nach fünf Defibrillationsversuchen.
- 100 mg Lidocain IV (IO) kann als Alternative verwendet werden, wenn Amiodaron nicht verfügbar ist oder eine Entscheidung vor Ort getroffen wurde, Lidocain anstelle von Amiodaron zu verwenden. Ein zusätzlicher Bolus von 50 mg Lidocain kann ebenfalls nach fünf Defibrillationsversuchen verabreicht werden.

Thrombolytika

- Erwägen Sie eine medikamentöse Thrombolysetherapie, wenn eine Lungenembolie als Ursache für den Kreislaufstillstand vermutet oder bestätigt wird.
- Erwägen Sie die Fortführung der Reanimationsmaßnahmen für 60–90 min nach der Verabreichung von Thrombolytika.

Infusionen

- Geben Sie IV (IO) Infusionen nur, wenn der Kreislaufstillstand durch Hypovolämie oder möglicherweise durch Hypovolämie verursacht wird.

Kapnographie während der erweiterten Reanimationsmaßnahmen

- Verwenden Sie die Kapnographie, um die korrekte Platzierung des Endotrachealtubus während der Reanimation zu bestätigen.
- Verwenden Sie die Kapnographie, um die Qualität der Wiederbelebung zu überwachen.
- Ein Anstieg des etCO_2 während der Reanimation kann auf das Wieder-

einsetzen eines Spontankreislaufs (ROSC) hinweisen. Die Thoraxkompression soll jedoch nicht allein aufgrund dieses Zeichens unterbrochen werden.

- Obwohl hohe und ansteigende etCO_2 -Werte mit erhöhten ROSC- und Überlebensraten nach Reanimation verbunden sind, sollen Sie einen niedrigen etCO_2 -Wert nicht allein verwenden, um zu entscheiden, ob ein Wiederbelebungsversuch gestoppt werden soll.

Verwendung der Ultraschallbildung während der erweiterten Reanimationsmaßnahmen

- Nur qualifizierte Anwender sollen Point-of-Care-Ultraschall (POCUS) während der Reanimation verwenden.
- POCUS darf keine zusätzlichen oder längeren Unterbrechungen der Thoraxkompression verursachen.
- POCUS kann nützlich sein, um behandelbare Ursachen für einen Kreislaufstillstand, wie Herztamponade und Pneumothorax, zu diagnostizieren.
- Eine isolierte rechtsventrikuläre Dilatation während eines Kreislaufstillstands soll nicht zur Diagnose einer massiven Lungenembolie verwendet werden.
- Verwenden Sie POCUS nicht zur Beurteilung der Kontraktilität des Myokards als alleiniger Indikator für die Beendigung der Reanimation.

Mechanische Geräte zur Thoraxkompression

- Ziehen Sie mechanische Thoraxkompressionen nur in Betracht, wenn eine qualitativ hochwertige manuelle Thoraxkompression nicht praktikabel ist oder die Sicherheit des Retters beeinträchtigt.
- Um die Unterbrechungen der Thoraxkompression zu minimieren, soll nur im Umgang geschultes Personal mechanische Reanimationsgeräte verwenden.

Extrakorporale CPR

- Erwägen Sie die extrakorporale CPR (eCPR) als Rettungstherapie für ausgewählte Patienten mit Kreislaufstillstand, wenn herkömmliche ALS-Maßnahmen fehlschlagen oder zur Erleichterung spezifische Interventionen (z. B. Koronarangiographie und perkutane Koronarintervention [PCI], Thrombektomie bei massiver Lungenembolie, Wiedererwärmung nach hypothermem Kreislaufstillstand) in Situationen, in denen sie implementiert werden kann.

Periarrest-Arrhythmien

- Die Beurteilung und Behandlung aller Arrhythmien richtet sich nach dem Zustand des Patienten (stabil versus instabil) und der Art der Arrhythmie. Lebensbedrohliche Merkmale bei einem instabilen Patienten sind:
 - Schock – dargestellt als Hypotonie (z. B. systolischer Blutdruck < 90 mm Hg) und Symptome einer erhöhten sympathischen Aktivität und einer verminderten zerebralen Durchblutung.
 - Synkope – als Folge einer verminderten zerebralen Durchblutung.
 - Herzinsuffizienz – manifestiert als Lungenödem (Versagen des linken Ventrikels) und/oder erhöhter jugulärer Venendruck (Versagen des rechten Ventrikels).
 - Myokardischämie – kann mit Brustschmerzen (Angina pectoris) oder schmerzfrei als isolierter Befund im 12-Kanal-EKG (stille Ischämie) auftreten.

Tachykardien

- Die elektrische Kardioversion ist die bevorzugte Behandlung für Tachyarrhythmien bei instabilen Patienten mit potenzieller Lebensbedrohung.
- Wache Patienten benötigen eine Anästhesie oder Sedierung vor dem Versuch einer synchronisierten Kardioversion.
- Um eine atriale oder ventrikuläre Tachyarrhythmie zu konvertieren, muss der Schock synchronisiert

werden, damit er mit der R-Welle des Elektrokardiogramms (EKG) aufeinandertrifft.

- Bei Vorhofflimmern:
 - Ein anfänglicher synchronisierter Schock bei maximaler Defibrillatorleistung anstelle eines eskalierenden Ansatzes ist eine anerkannte Strategie, die auf aktuellen Daten basiert.
- Bei Vorhofflattern und paroxysmaler supraventrikulärer Tachykardie:
 - Geben Sie einen initialen Schock von 70 bis 120 J.
 - Erhöhen Sie schrittweise die Energie für nachfolgende Schocks.
- Bei ventrikulärer Tachykardie mit Puls:
 - Verwenden Sie für den ersten Schock Energieniveaus von 120 bis 150 J.
 - Erwägen Sie eine schrittweise Erhöhung, wenn mit dem ersten Schock kein Sinusrhythmus erreicht wird.
- Wenn mit der Kardioversion kein Sinusrhythmus wiederhergestellt werden kann und der Patient instabil bleibt, geben Sie 300 mg Amiodaron intravenös über 10 bis 20 min (oder Procainamid 10 bis 15 mg/kg über 20 min) und versuchen Sie eine erneute elektrische Kardioversion. Auf die Initialdosis von Amiodaron kann eine Infusion mit 900 mg über 24 h folgen.
- Wenn der Patient stabil ist (keine bedrohlichen Zeichen oder Symptome) und sich nicht weiter verschlechtert, ist eine medikamentöse Behandlung möglich.
- Erwägen Sie Amiodaron zur akuten Herzfrequenzkontrolle bei Patienten mit Vorhofflimmern mit hämodynamischer Instabilität und stark reduzierter linksventrikulärer Ejektionsfraktion (LVEF). Bei Patienten mit einer LVEF $< 40\%$ soll die kleinstmögliche Betablocker-dosis in Betracht gezogen werden, um eine Herzfrequenz von weniger als 110 min^{-1} zu erzielen. Verabreichen Sie bei Bedarf Digoxin.

Bradykardie

- Wenn eine Bradykardie mit bedrohlichen Symptomen einhergeht, geben Sie 500 µg Atropin IV (IO) und wiederholen Sie dies gegebenenfalls alle 3–5 min bis maximal 3 mg.
- Wenn die Behandlung mit Atropin unwirksam ist, erwägen Sie Medikamente der zweiten Wahl. Dazu gehören Isoprenalin (5 µg min⁻¹ Anfangsdosis) und Adrenalin (2–10 µg min⁻¹).
- Theophyllin (100–200 mg langsam intravenös) kann erwogen werden, wenn die Bradykardie durch einen inferioren Myokardinfarkt, nach einer Herztransplantation oder durch eine Rückenmarksverletzung verursacht wird.
- Erwägen Sie die Gabe von Glucagon, wenn Betablocker oder Kalziumkanalblocker eine mögliche Ursache für die Bradykardie sind.
- Geben Sie Patienten nach Herztransplantationen kein Atropin – es kann einen hochgradigen AV-Block oder sogar einen Sinusstillstand verursachen – verwenden Sie Theophyllin.
- Erwägen Sie eine Schrittmachertherapie bei instabilen Patienten mit symptomatischer Bradykardie, die auf medikamentöse Therapien nicht anspricht.
- Wenn die transthorakale Schrittmacherstimulation unwirksam ist, sollen Sie eine transvenöse Stimulation in Betracht ziehen.
- Wann immer eine Asystolie diagnostiziert wird, überprüfen Sie das EKG sorgfältig auf das Vorhandensein von P-Wellen, da in einer solchen Situation der Einsatz eines transkutanen Herzschrittmachers indiziert sein könnte.
- Wenn Atropin wirkungslos und eine transkutane Schrittmachertherapie nicht unverzüglich verfügbar ist, kann eine Faustschlagstimulation versucht werden, solange man auf das Equipment für die Schrittmachertherapie wartet.

Organspende nach Kreislaufstillstand

- Wenn kein ROSC erreicht werden kann, sollen Sie eine Organspende nach Kreislaufstillstand in Einrichtungen in Betracht ziehen, in denen ein etabliertes Programm vorliegt und dies den lokalen Protokollen und Gesetzen entspricht.

Nachbesprechung

- Verwenden Sie datenbasiertes und leistungsorientiertes Debriefing von Rettungskräften, um die Reanimationsqualität und das Outcome zu verbessern.

Evidenz für die Leitlinien

Verhinderung eines Kreislaufstillstands im Krankenhaus (IHCA)

Ein Kreislaufstillstand im Krankenhaus (IHCA) tritt bei etwa 1,5 von 1000 Patienten auf, die ins Krankenhaus eingeliefert wurden [8, 9]. Es gibt zwei Hauptstrategien, um einen Kreislaufstillstand und die Notwendigkeit einer Reanimation zu verhindern:

- Patientenorientierte Entscheidungsfindung, um festzustellen, ob Reanimationsmaßnahmen angemessen sind.
- Physiologische Verschlechterung frühzeitig erkennen und behandeln, um einen Kreislaufstillstand zu verhindern.

Notfallbehandlungs- und Reanimationsentscheidungen

Bei den meisten Patienten, die im Krankenhaus sterben, erfolgen keine Reanimationsmaßnahmen [10–13]. Die ERC-Ethikleitlinien fördern die gemeinsame Entscheidungsfindung und die fortgeschrittene Pflegeplanung, bei der Reanimationsentscheidungen in Notfallbehandlungspläne integriert werden, um die Klarheit der Behandlungsziele zu erhöhen und zu verhindern, dass neben der CPR versehentlich andere indizierter Behandlungen vernachlässigt werden. Weitere Informationen finden

Sie im Abschn. „Ethik der Reanimation und Entscheidungen am Lebensende“.

Physiologische Verschlechterung

Dem Kreislaufstillstand im Krankenhaus geht häufig eine physiologische Verschlechterung voraus [14, 15]. Dies bietet die Möglichkeit, eine Verschlechterung zu erkennen und einen Kreislaufstillstand zu verhindern. Die 5 wichtigsten Schritte wurden als Überlebenskette im Krankenhaus konzipiert: „Schulung des Personals“, „Überwachung“, „Erkennung“, „Hilferuf“ und „Reaktion“ [16]. Diese ERC-Leitlinie basiert auf dem ILCOR CoSTR und einer systematischen Überprüfung von innerklinischen Notfallteams für Erwachsene sowie einer britischen Leitlinie für Frühwarnscores und das Erkennen und Reagieren auf eine Verschlechterung von akut kranken Erwachsenen im Krankenhaus [17–19].

Ausbildung des Personals. Die Schulung soll die Erhebung von Vitalparametern, einen strukturierten ABCDE-Ansatz mit Beurteilung und ersten Behandlungsmaßnahmen, die Verwendung von strukturierten Kommunikationswerkzeugen wie Situation-Background-Assessment-Recommendation (SBAR) und das Rufen von Hilfe und die Eskalation der Versorgung umfassen [18]. Die Mitarbeiter sollen auch wissen, wie sie die lokalen Richtlinien zu Entscheidungen über den Verzicht auf eine Reanimation (DNA-CPR), Behandlungseskalationspläne und den Beginn der Pflege am Lebensende umsetzen können.

Überwachung. Die meisten Fälle von IHCA haben einen initialen nichtschokkbaren Rhythmus. Vorhergehende Anzeichen von Atemdepression oder Schock sind häufig [8, 9, 20]. Um eine Verschlechterung und kritische Erkrankung frühzeitig zu erkennen, sollen alle Patienten einen dokumentierten Plan zur Überwachung der Vitalfunktionen haben. Er sollte enthalten, welche physiologischen Messungen wie häufig aufgezeichnet werden sollen. Dies kann mithilfe eines standardisierten Frühwarnsystems (Early Warning Score, EWS) für alle Patienten erfolgen. Die Wahl des Systems hängt von den örtlichen Gegebenheiten

ab und soll den nationalen Richtlinien entsprechen. In Großbritannien wird beispielsweise der National Early Warning Score (NEWS) von den Richtlinien des National Institute for Health and Care Excellence (NICE) unterstützt [17, 18]. Ein höherer Anteil an geschultem Pflegepersonal steht in Verbindung mit einer geringeren Rate an übersehenen abnormalen Vitalfunktionen und der Qualität der Patientenversorgung [21, 22]. Es fehlen randomisierte, kontrollierte Studien (RCT) oder ein Konsens darüber, welche Patienten eine kontinuierliche EKG-Überwachung erhalten sollen. In einer registerbasierten Studie waren Umgebungen, in denen Patienten engmaschig überwacht werden, mit einem verbesserten Überleben assoziiert, und zwar unabhängig vom initialen Rhythmus [23].

Erkennung. Zu den Strategien zur Vereinfachung und Standardisierung der Überwachung des Zustands eines Patienten sowie zur Erkennung einer akuten Erkrankung oder Verschlechterung und zur Einleitung einer Behandlung gehören Early-Warning-Score(EWS)-Systeme.

Diese Systeme haben eine vordefinierte abgestufte und eskalierende Reaktion gemäß dem EWS des Patienten. Der EWS wird verwendet, um Stationspatienten zu identifizieren, die eine Eskalation der Versorgung benötigen, die Überwachung der Vitalfunktionen zu verbessern, die Identifizierung von Verschlechterungen zu verbessern und die Zeit bis zur Aktivierung des Notfallteams zu verkürzen [24]. Klinische Bedenken von Pflegekräften und anderen Mitgliedern des multidisziplinären Teams können ebenfalls auf eine Verschlechterung des Patienten hinweisen [25, 26].

Der Hilferuf. Alle Mitarbeiter sollen befugt sein, um Hilfe zu rufen, und auch darin geschult werden, strukturierte Kommunikationswerkzeuge wie SBAR (Situation-Background-Assessment-Recommendation) zu verwenden, um eine effektive Kommunikation sicherzustellen [27–29]. Die Reaktion auf kritisch kranke Patienten oder Patienten mit einem hohen Risiko zur Verschlechterung erfolgt häufig durch ein medizinisches Notfallteam. Jedes Mitglied

des Gesundheitsteams kann den Notruf eines medizinischen Notfallteams einleiten. In einigen Krankenhäusern werden auch der Patient und dessen Familie und Freunde aufgefordert, das Team zu verständigen [30–32].

Reaktion. Die Reaktion auf Patienten, die kritisch krank sind oder einem Risiko ausgesetzt sind, wird häufig durch ein medizinisches Notfallteam durchgeführt. Diese Teams bestehen in der Regel aus medizinischem und pflegerischem Personal, das auf bestimmte Kriterien reagiert. Sie ersetzen oder koexistieren mit herkömmlichen Reanimationsteams, die normalerweise nur auf Patienten ansprechen, die sich bereits in einem Kreislaufstillstand befinden. Systematische Überprüfungen, Metaanalysen und multizentrische Studien legen nahe, dass medizinische Notfallteams die IHCA- und Krankenhaussterblichkeitsrate senken [33, 34]. Diese Daten veranlassten das ILCOR, darauf hinzuweisen, dass Krankenhäuser die Einführung von medizinischen Notfallteams in Betracht ziehen, um die Inzidenz von IHCA und die Mortalität im Krankenhaus zu verringern (schwache Empfehlung, niedrige Evidenz) [19]. Teaminterventionen umfassen häufig einfache Aufgaben wie den Beginn der Sauerstofftherapie und Infusionstherapien sowie komplexere Entscheidungen wie die Aufnahme des Patienten auf die Intensivstation (ICU) oder den Beginn von Diskussionen zu DNA-CPR, Eskalation der Behandlung oder Pflegeplänen am Lebensende (siehe Abschn. „Ethik der Reanimation und Entscheidungen am Lebensende“). Ein wichtiger Teil der Maßnahmen ist die Verlegung eines Patienten, bei dem das Risiko einer Verschlechterung besteht, oder eines sich bereits verschlechternden Patienten in eine geeignete Umgebung. Die Patienten sollen in einem klinischen Bereich behandelt werden, der für die Bedürfnisse des Patienten und mit entsprechendem Personal ausgestattet ist.

Verhinderung eines prähospitalen Kreislaufstillstands (OHCA)

In Industrieländern ist der plötzliche Herztod (PHT) die dritthäufigste Todesursache. Das Überleben nach einem Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses (OHCA) beträgt nur 10% oder weniger [35–37], was die Prävention von OHCA wichtig macht [38]. Scheinbar gesunde junge Erwachsene, die einen PHT erleiden, können auch Anzeichen und Symptome (z. B. Synkope/Präsynkope, Brustschmerzen und Herzklopfen) aufweisen, die medizinisches Fachpersonal alarmieren sollen, um fachkundige Hilfe zu suchen und so einen Kreislaufstillstand zu verhindern [39–48].

Es gibt keine systematischen Untersuchungen zu diesem Thema. Bei einer Suche am 26. Februar 2020 unter Verwendung der Begriffe „Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses“ UND „Prävention“, die seit dem 1. Januar 2015 auf klinische Studien und Überprüfungen beschränkt waren, wurden 65 Artikel ermittelt. Die Referenzen dieser Artikel wurden ebenfalls überprüft. Bestehende Richtlinien der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie (ESC), der American Heart Association (AHA) und des European Resuscitation Council (ERC) wurden berücksichtigt.

Epidemiologie und Pathophysiologie des plötzlichen Herztodes

Die koronare Herzkrankheit (KHK) macht 80% des PHT aus, insbesondere bei älteren Patienten. Nichtischämische Kardiomyopathien machen weitere 10–15% aus [49]. Bei jungen Menschen sind Erbkrankheiten, angeborene Herzkrankheiten, Myokarditis und Drogenmissbrauch die Hauptursachen. Die Kenntnis der Ursachen von PHT hilft bei der frühzeitigen Behandlung und Prävention von OHCA (■ Tab. 1).

Koronare Herzkrankheit (KHK)

Arrhythmien, die durch einen akuten Myokardinfarkt (AMI) oder nachfolgende Myokardnarben ausgelöst werden, können zu PHT führen [51]. Ungefähr zwei Drittel der PHT treten als erstes

Tab. 1 Ursachen für plötzlichen Herztod (PHT) angepasst von Kandala [49] und Winkel [50]

Koronare Herzerkrankung
ST-Strecken-Hebung
Anderer Myokardinfarkt
Instabile Angina
Stille Ischämie
<i>Erkrankungen des Herz-Reizleitungs-Systems, häufig bei jungen Menschen mit PHT</i>
Langes QT-Syndrom (LQTS)
Kurzes QT-Syndrom
Brugada-Syndrom
Katecholaminerge polymorphe ventrikuläre Tachykardie
Triadin-Knock-out-Syndrom (TKOS)
Arrhythmogener Mitralklappenprolaps (ABiMVPs)
Durch Medikamente oder Drogen induziert
<i>Nichtatherosklerotische Anomalien der Koronararterien</i>
<i>Angeborene Herzfehler</i>
Hypertrophe Kardiomyopathie (HCM)
<i>Dilatierete Kardiomyopathie (DCM)</i>
<i>Herzklappenerkrankungen</i>

KHK-Ereignis oder bei Personen mit geringem Risiko auf [49]. In den letzten 50 Jahren haben Primärprävention und sekundäre Revaskularisierung die alterskorrigierte KHK-Mortalität verringert [49]. Der Prozentsatz der mit KHK assoziierten PHT bleibt unverändert, was darauf hindeutet, dass es Wechselwirkungen zwischen KHK und auslösenden Ereignissen wie Funktionsstörungen des autonomen Nervensystems, Elektrolytstörungen, Arzneimitteltoxizität und individueller genetischer Profile gibt [49]. Elektrophysiologische Studien des Herzens können KHK-Patienten mit hohem oder niedrigem PHT-Risiko identifizieren [52]. Zusätzliche Faktoren wie Herzinsuffizienz (HF) und linksventrikuläre Hypertrophie (LVH) sind prädisponierend für ventrikuläre Arrhythmien (polymorphe ventrikuläre Tachykardie [VT] und Kammerflimmern [VF]). Wie Patienten mit hohem PHT-Risiko mit HF und LVH identifiziert werden können, ist ungewiss [53]. Änderungen der linksventrikulären Geometrie wirken sich auf die Wahrscheinlichkeit für die Entwicklung von VT und VF aus. Hohe Blutkonzentrationen von „B-type na-

triuretic peptide“ (BNP) und seinem N-terminalen Fragment (NT-proBNP) sind mit höheren Raten für die Platzierung eines geeigneten implantierbaren Kardioverter-Defibrillators (ICD) und mit einer höheren Sterblichkeit verbunden [54, 55]. Der einzige Indikator, bei dem festgestellt wurde, dass er konsistent mit einem erhöhten PHT-Risiko bei KHK und linksventrikulärer Dysfunktion (LV) assoziiert ist, ist die LV-Ejektionsfraktion (LVEF) [51]. LVEF wird verwendet, um die Notwendigkeit eines implantierbaren Kardioverter-Defibrillators (ICD) zur primären und sekundären Prävention von PHT festzustellen [56]. Trotz erheblicher Fortschritte bleibt die Möglichkeit, das PHT-Risiko vor dem Ereignis zu erkennen, sehr begrenzt [51].

PHT bei den jungen Menschen

PHT bei jungen Menschen (5–35 Jahre) macht 7 % aller PHT aus [50]. Die Inzidenz beträgt 1–8/100.000 Todesfälle pro Jahr [57]. Bei jugendlichen mit PHT hatten 50 % der Patienten die Symptome vor dem Tod falsch interpretiert [47]. KHK ist die häufigste Ursache für PHT in Jugendlichen. 25–31 % der Fälle bleiben nach der Obduktion ungeklärt (Sudden Arrhythmic Death Syndrome [SADS]) [50]. Die Mehrzahl der vererbten Herzerkrankungen kann bei Diagnose behandelt werden, doch die meisten jungen Betroffenen mit PHT werden nicht diagnostiziert [45]. Vorboten von PHT bei Jugendlichen waren in einer Studie nur in 29 % vorhanden und damit niedriger als bei älteren Patienten [58]. QT-verlängernde Medikamente und Psychopharmaka, allein oder in Kombination, erhöhen das PHT-Risiko [59]. Die Obduktion ist entscheidend, um erbliche Herzerkrankungen in ungeklärten Fällen von PHT zu identifizieren. Dies soll zu einer Herzuntersuchung von Verwandten ersten Grades führen. Dieses Screening führte in über der Hälfte der Familien zur Diagnose einer vererbten Herzerkrankung [60]. In einer großen retrospektiven PHT-Studie konnte bei 113/180 Patienten (62,8 %) eine Ursache festgestellt werden, der Rest wurde als idiopathisches VF eingestuft [61]. Mit Verbesserungen in der Diagnostik (z. B. medikamentöse Provokationstests

für kardiale Kanalopathien und koronare Vasospasmen, genetische Tests) soll die Zahl der ungeklärten PHT sinken [61]. (Siehe Abschn. „Epidemiologie des Kreislaufstillstandes in Europa“ [38, 62]).

Nichtatherosklerotische Anomalien der Koronararterien

Koronararterienembolie, Koronararteriitis (z. B. Kawasaki-Krankheit, Polyarteriitis nodosa), Spasmen und myokardiale Überbrückung sind alle im Zusammenhang mit PHT beschrieben worden.

Angeborene Herzkrankheit

Angeborene Koronaromalien treten bei 1 % aller Patienten auf. PHT aufgrund von kongenitalen Koronaromalien ist trainingsbedingt und macht 17 % der PHT bei jungen Sportlern aus [49, 58].

Hypertrophe Kardiomyopathie (HCM)

Die hypertrophe Kardiomyopathie ist mit 1 von 200–500 Fällen die häufigste genetische Erkrankung des Herzens und die häufigste Ursache für jugendlichen PHT [63]. Sie bleibt oft klinisch unentdeckt, bis der PHT als erstes kardiales Ereignis auftritt. Die Inzidenz von PHT in Familien mit HCM kann 2–4 % pro Jahr und 4–6 % bei Kindern und Jugendlichen betragen [49].

Warnzeichen

Ungefähr 50 % der Kreislaufstillstände treten bei Personen mit nichtdiagnostizierter KHK auf [51, 64]. Viele PHT-Patienten haben eine Vorgeschichte von Herzerkrankungen und Warnzeichen vor dem Kreislaufstillstand, am häufigsten Schmerzen in der Brust oder im Oberbauch oder Dyspnoe, auf die der Patient oder das medizinische Fachpersonal nicht reagiert hat [65, 66]. Etwa ein Drittel der älteren Patienten hat in den Tagen oder Stunden vor dem Kreislaufstillstand Symptome, vor allem Brustschmerzen, Dyspnoe, Synkopen und/oder kalten Schweiß [66, 67]. Von 1960 OHCA-Patienten waren 9,4 % innerhalb der vorangegangenen 48 h von einer Rettungswagenbesatzung untersucht worden [68]. Die Notfallversorgung bei Patienten mit Symptomen ist mit einem verbesserten

Tab. 2 Hochrisikomerkmale, die auf einen ernsten Zustand bei Patienten mit Synkope bei der Erstuntersuchung in der Notaufnahme hindeuten

Merkmale für Synkopeneignisse

Hauptmerkmal

Neu auftretende Beschwerden in der Brust, Kurzatmigkeit, Bauchschmerzen oder Kopfschmerzen [81–83]

Synkope während Anstrengung oder in Rückenlage [84]

Plötzlich einsetzendes Herzklopfen unmittelbar gefolgt von der Synkope [84]

Nebenmerkmal

Keine Warnsymptome oder kurzes (< 10 s) Prodrom [84–87]

Familiengeschichte von PHT in jungen Jahren [88]

Synkope in sitzender Position [89]

Krankengeschichte

Hauptmerkmal

Schwere strukturelle oder koronare Herzkrankheit (Herzinsuffizienz, niedrige LVEF oder früherer Myokardinfarkt) [81, 83]

Körperliche Untersuchung

Hauptmerkmal

Ungeklärter systolischer Blutdruck < 90 mm Hg [81, 83]

Anhaltende Bradykardie (< 40 min⁻¹) im Wachzustand ohne körperliches Training
Nichtdiagnostiziertes systolisches Herzgeräusch

EKG

Hauptmerkmal

EKG-Veränderungen, die mit akuter Ischämie vereinbar sind
Mobitz II atrioventrikulärer (AV) Block zweiten und dritten Grades

Langsames Vorhofflimmern (AF) (< 40 min⁻¹)

Anhaltende Sinusbradykardie (< 40 min⁻¹) oder wiederholte Sinoatrialblockade oder Sinuspausen > 3 s im Wachzustand ohne körperliches Training

Schenkelblock, intraventrikuläre Überleitungsstörung, ventrikuläre Hypertrophie oder Q-Wellen, die mit einer ischämischen Herzerkrankung oder Kardiomyopathie vereinbar sind [82, 87]

Anhaltende und nicht anhaltende VT

Funktionsstörung eines implantierten Gerätes (Herzschrittmacher oder ICD)

Typ-1-Brugada-Muster

ST-Strecken-Hebung mit Typ-1-Morphologie in Ableitungen V1-V3 (Brugada-Muster)

QTc > 460 ms in wiederholten 12-Kanal-EKG, die auf ein verlängertes QT-Syndrom (LQTS) hinweisen [90]

Nebenmerkmal (hohes Risiko nur, wenn die Vorgeschichte mit der arrhythmischen Synkopen übereinstimmt)

Mobitz I AV-Block zweiten Grades und AV-Block ersten Grades mit deutlich verlängertem PR-Intervall

Asymptomatische, unangemessene leichte Sinusbradykardie (40–50 Schläge pro Minute) [87]

Paroxysmale supraventrikuläre Tachykardie (SVT) oder Vorhofflimmern [91]

Vorerregter QRS-Komplex

Kurzes QTc-Intervall (≤ 340 ms) [90]

Atypisches Brugada-Muster [90]

Negative T-Wellen in den rechten präkordialen Ableitungen, Epsilonwellen, die auf eine arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie (ARVC) hinweisen [90]

Adaptiert von Brignole 2018 [56]

EKG Elektrokardiogramm, *ICD* implantierbarer Kardioverter-Defibrillator, *LVEF* linksventrikuläre Ejektionsfraktion, *PHT* plötzlicher Herztod, *VT* ventrikuläre Tachykardie

Überleben verbunden [65]. Eine frühzeitige Erkennung des akuten Koronarsyndroms (ACS) durch den Rettungsdienst mit 12-Kanal-EKG-Möglichkeit und eine Verkürzung der Zeit bis zur Reperfusion kann PHT verhindern [69]. Der effektivste Ansatz zur Prävention von KHK in der Allgemeinbevölkerung bleibt die Quantifizierung des individuellen Risikos für die Entwicklung von KHK, gefolgt von der Kontrolle der Risikofaktoren [69]. Eine Synkope kann ein wichtiges Vorzeichen für den PHT sein.

Synkope

Eine Synkope, die bei anstrengender Tätigkeit, im Sitzen oder in Rückenlage auftritt, soll immer den Verdacht auf eine kardiale Ursache erwecken; in anderen Situationen handelt es sich eher um eine vasovagale Synkope oder eine posturale Hypotonie [69]. Bei Patienten mit bekannter kardialer Erkrankung ist eine Synkope (mit oder ohne Prodrom, insbesondere kürzlich aufgetreten oder wiederkehrend) ein unabhängiger Risikofaktor für eine erhöhte Mortalität [56, 63, 70–80]. Hochrisikomerkmale (die auf einen ernsten Zustand hindeuten) und Niedrigrisikomerkmale (die auf einen gutartigen Zustand hindeuten) für die Einschätzung von Patienten mit Synkope in der Notaufnahme wurden von der ESC veröffentlicht (■ Tab. 2; [56]). Eine frühzeitige Erfassung eines 12-Kanal-EKG durch den Rettungsdienst kann hilfreich sein.

Screening-Programme für Sportler können hilfreich sein, variieren jedoch zwischen den Ländern [92, 93]. In einer Studie aus Großbritannien erhielten zwischen 1996 und 2016 11.168 Sportler ein kardiovaskuläres Screening. Bei 0,38 % (n = 42) wurden mit PHT assoziierte Erkrankungen festgestellt [94].

Vorbeugende Maßnahmen gegen PHT

Die Prävention von PHT konzentriert sich auf die begleitenden medizinischen Bedingungen, die zu Arrhythmien beitragen oder diese verschlimmern können, auf das Risiko, das von Arrhythmien ausgeht, und auf das Risiko-Nutzen-Verhältnis einer bestimmten Therapie. Die

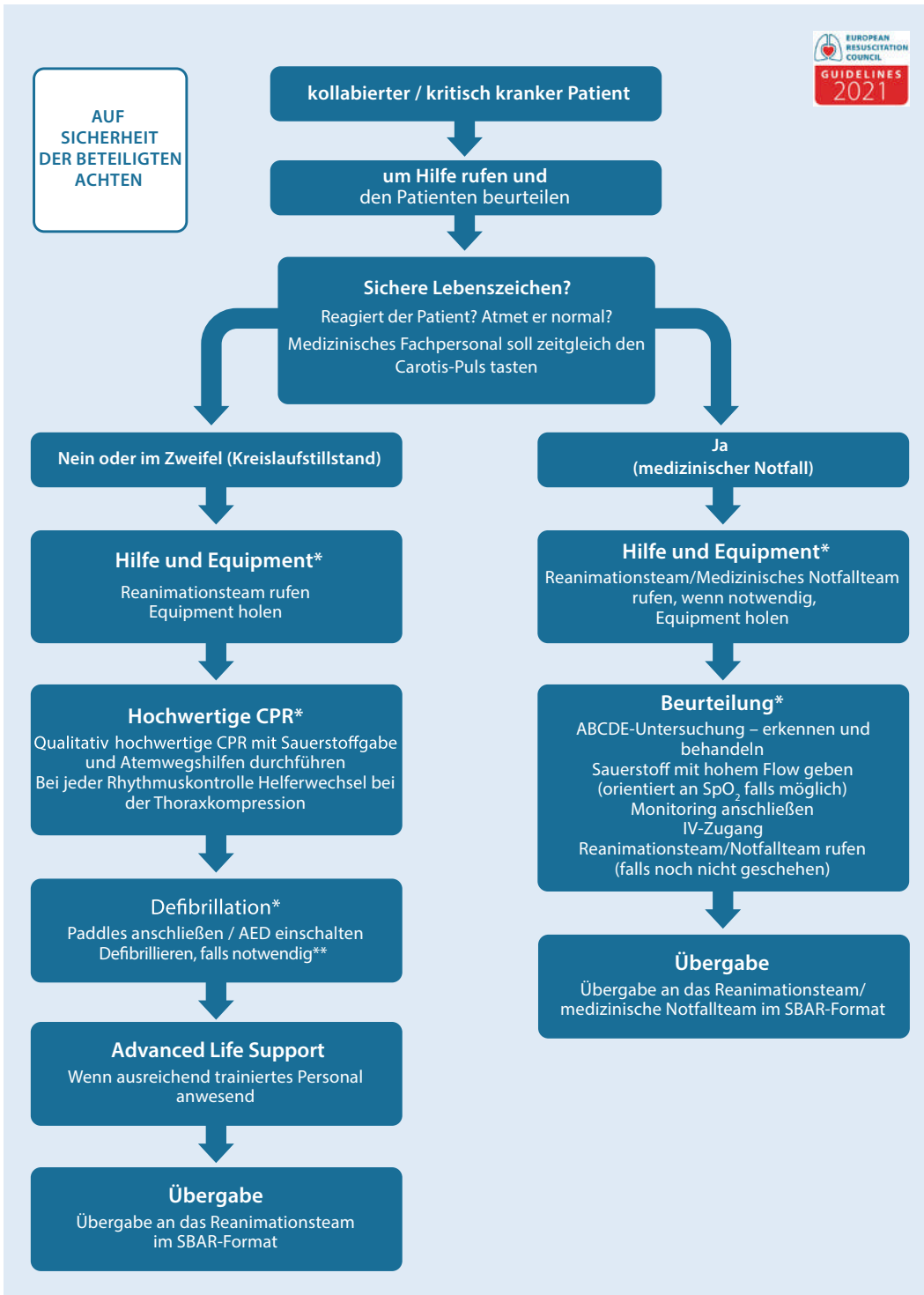


Abb. 2 ◀ Wiederbelebungsalgorithmus im Krankenhaus. AED bezeichnet einen automatisierten externen Defibrillator, ALS erweiterte Reanimationsmaßnahmen, CPR kardiopulmonale Wiederbelebung, SBAR Situation, Hintergrund, Bewertung, Empfehlung. * Arbeiten Sie parallel, wenn die Zahl der Helfer es erlaubt, ** Verwenden Sie einen manuellen Defibrillator, wenn Sie ihn haben und beherrschen

Interventionen umfassen Antiarrhythmika, implantierbare Kardioverter-Defibrillatoren (ICD) sowie Ablation oder Operation [56, 95]. Nichtinvasive Telemetrie oder implantierbare Geräte, die das EKG übertragen, werden derzeit bei ausgewählten Patientengruppen verwendet, um Arrhythmien mit hohem Risiko

zu erkennen und PHT zu verhindern. In jüngerer Zeit wurden vernetzte Geräte mit Arrhythmie-Erkennungsfunktionen (Smartwatch, Smartphone-Applikationen) eingeführt, die bei der Erkennung von asymptomatischem Vorhofflimmern hilfreich sein können. Ihre potenzielle Rolle in der allgemeinen Bevölkerung

zur Erkennung von PHT-Arrhythmien ist jedoch unbekannt [96, 97]. Die Aufklärung der Bevölkerung über die Symptome vor einem PHT und die Hilfe für Personen mit Kreislaufstillstand sind wichtig [65].

Behandlung des Kreislaufstillstands im Krankenhaus (IHCA)

Die Behandlungsprinzipien bei Kreislaufstillstand, wie z. B. die schnelle Defibrillation und die Durchführung einer qualitativ hochwertigen Reanimation, sind sowohl bei IHCA als auch bei OHCA gleich. Im Krankenhaus bietet die sofortige Verfügbarkeit von geschultem klinischem Personal und Ausrüstung die Möglichkeit, einen Kreislaufstillstand schnell zu erkennen und die Behandlung einzuleiten. Als IHCA kann jeder Kreislaufstillstand definiert werden, der auf dem Krankenhausbereich auftritt. Dies kann einen Kreislaufstillstand bei Patienten, Krankenhausbesuchern oder Personal in einer Vielzahl von Krankenhausumgebungen umfassen. Bei IHCA können BLS- und ALS-Interventionen häufig gleichzeitig beginnen und stattfinden (siehe **Abb. 2**). Diese Leitlinien basieren auf dem ILCOR CoSTR [2], den ERC-ALS-Leitlinien 2015 [24] und den ERC-Qualitätsstandards für CPR-Praxis und -Training [98].

Das ILCOR hat eine systematische Untersuchung der akkreditierten Ausbildung in erwachsenen ALS durchgeführt. Die Untersuchung schloss acht Beobachtungsstudien ein und identifizierte Vorteile von ALS für ROSC und das Überleben bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus oder nach 30 Tagen [19]. Das ILCOR führte auch eine systematische Untersuchung des Team- und Führungstrainings durch, welche 16 RCT und drei Beobachtungsstudien umfasste, in denen ein Nutzen für das Überleben der Patienten sowie die Fähigkeiten identifiziert wurden [19].

Ersthelfer

Die klinischen Fähigkeiten eines Ersthelfers können von nichtklinischen Mitarbeitern, die in BLS geschult sind, bis zu ALS-Providern reichen. Unabhängig vom Ausbildungsstand besteht die erste Maßnahme des Ersthelfers darin, einen Kreislaufstillstand zu erkennen, sofort mit der Reanimation zu beginnen, Hilfe zu rufen und eine schnelle Defibrillation durchzuführen. Verzögerungen beim Beginn der Behandlung verringern die

Wahrscheinlichkeit eines erfolgreichen Outcomes [99, 100].

Das Verfahren für den Hilferuf kann sich zwischen Krankenhäusern oder Standorten innerhalb eines Krankenhauses unterscheiden. Wenn der Helfer allein ist, muss er möglicherweise den Patienten verlassen, um Hilfe zu rufen. Wenn ein Telefonsystem zum Rufen des Notfallteams verwendet wird, soll die europäisch einheitliche Nummer (2222) verwendet werden [101].

Nach Abschluss der ersten Maßnahmen und vorausgesetzt, dass genügend Personal zur Verfügung steht, soll das Personal die ALS-Ausrüstung holen und die Übergabe an das Reanimationsteam vorbereiten, indem es entweder das SBAR- (Situation-Background-Assessment-Recommendation) oder das RSVP-System (Reason-Story-Vital Signs-Plan) verwendet [27, 102, 103]. Jeder klinische Bereich in einem Krankenhaus soll das Patientenkollektiv, das Risiko eines Kreislaufstillstands und die geografische Lage (d. h. die Entfernung, die das Reanimationsteam zurücklegen muss) berücksichtigen, um den spezifischen Schulungsbedarf des Personals zu ermitteln.

Reanimationsteam

Das Reanimationsteam kann die Form eines traditionellen Kreislaufstillstandsteams haben, das nur auf Kreislaufstillstandsereignisse reagiert, oder eines medizinischen Notfallteams, das sowohl auf Kreislaufstillstand als auch auf kritisch kranke Patienten reagiert. Das ILCOR empfiehlt eine akkreditierte ALS-Schulung für medizinisches Personal (schwache Empfehlung aufgrund sehr geringer Sicherheit), da die ALS-Schulung mit einem erhöhten ROSC- und Patientenüberleben verbunden ist [19]. Das ILCOR empfiehlt auch die Durchführung von Team- und Führungstraining (schwache Empfehlung basierend auf Evidenz mit sehr geringer Sicherheit), da diese mit verbesserten Patienten- und Prozessergebnissen assoziiert sind [19]. Reanimationsteams bilden sich häufig ad hoc, abhängig von den Dienstplänen im Krankenhaus, und umfassen Personen aus einer Reihe von Fachgebieten (z. B. Akutmedizin, Kar-

diologie, Intensivmedizin). Mangelndes Wissen über die Rollen der Teammitglieder, einschließlich der Person, die als Teamleiter fungiert, kann zu Fehlern bei der Reanimation bei IHCA führen [104, 105]. Eine Teambesprechung zu Beginn jeder Schicht zur Vorstellung und Rollenverteilung kann die effektive Teamarbeit während der Reanimation unterstützen.

Ausrüstung

Krankenhäuser sollen sicherstellen, dass klinische Bereiche sofort Zugang zu Equipment und Medikamenten haben, um eine schnelle Reanimation des Patienten bei Kreislaufstillstand zu ermöglichen. Fehlende oder fehlerhafte Geräte tragen zu Verzögerungen bei der Behandlung bei [104, 106]. Die Ausrüstung soll im gesamten Krankenhaus standardisiert sein und die Ausrüstung regelmäßig überprüft werden.

Behandlung des prähospitalen Kreislaufstillstands

Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über spezifische ALS-Problematiken im Zusammenhang mit der Reanimation beim prähospitalen Kreislaufstillstand. Weitere Informationen finden Sie in den Abschnitten Lebensrettende Basismaßnahmen (BLS), Kreislaufstillstand unter besonderen Umständen, Versorgungssystem, Epidemiologie, Postreanimationsbehandlung und Ethik. Das Ziel von erweiterten Reanimationsmaßnahmen während der präklinischen Reanimation ist es, so früh wie möglich die gleichen Interventionen wie im Krankenhaus bereitzustellen und den Patienten schnellstmöglich in das Krankenhaus zu bringen, wenn die Interventionen außerhalb des Krankenhauses nicht möglich sind.

Drei systematische ILCOR-Untersuchungen wurden identifiziert [107–109]. Eine fokussierte Suche am 13. März, die sich auf klinische Studien und Reviews seit dem 1. Januar 2015 beschränkte, identifizierte 612 Artikel. Die Titel und Abstracts wurden gescreent und die entsprechenden Artikel eingeschlossen.

Tab. 3 Patienten- und CPR-Faktoren, die das Ergebnis der OHCA beeinflussen

Patient
Alter
Geschlecht
Komorbiditäten
Herzfunktion
Lungenfunktion
Nierenfunktion
Trauma
Spezielle Umstände
Reanimation
Örtlichkeit (privat vs. Öffentlichkeit)
Beobachteter vs. nichtbeobachteter Kreislaufstillstand
Ersthelfer-CPR
Art der CPR des Ersthelfers (nur Thoraxkompression vs. Standard)
Initialer Rhythmus des Kreislaufstillstands
Verwendung von AED durch Ersthelfer
Zeit bis Rückkehr des spontanen Kreislaufs

Adaptiert von Kandala 2017 [49]. AED bezeichnet die automatisierte externe Defibrillation, CPR die kardiopulmonale Reanimation

Initiale ALS-Behandlung von OHCA

Mehrere Patienten- und CPR-Faktoren beeinflussen das Ergebnis eines OHCA (▣ Tab. 3). Kommunale Programme zur Laienreanimation und AED-Anwendung verbessern die Ergebnisse von OHCA [110]. Thoraxkompressionen und frühe Defibrillation sind die Eckpfeiler der CPR bei OHCA. Die einzige definitive Behandlung für VF bleibt die sofortige Defibrillation [111].

Rettungsdienst-Personal und Interventionen

Das ILCOR führte eine systematische Untersuchung der Rettungsdienstexposition gegenüber OHCA und der Erfahrung mit OHCA hinsichtlich des Überlebens des Patienten durch [107]. Die größte Studie in dieser Übersichtsarbeit stellte einen Zusammenhang zwischen der Exposition von Notfallsanitätern gegenüber einem OHCA, definiert als die Anzahl der Einsätze eines Notfallsanitäters bei einem OHCA, und dem Überleben des Patienten bis zur Krankenhausentlassung her [112]. Eine zunehmende Exposition in den letzten drei Jahren war mit einem erhöhten Überleben bis zur Entlassung verbunden: ≤ 6 Expositionen

(Kontrollgruppe), $> 6-11$ Expositionen (angepasstes Odds Ratio [aOR] 1,26, 95 %-CI 1,04–1,54), $11-17$ Expositionen (aOR 1,29, 95 %-CI 1,04–1,59), > 17 Expositionen (aOR 1,50, 95 %-CI 1,22–1,86) [112]. Eine weitere große Beobachtungsstudie zeigte, dass eine erhöhte Exposition des behandelnden Notfallsanitäters mit einem erhöhten ROSC verbunden war (< 15 Expositionen, Kontrollgruppe vs. ≥ 15 Expositionen, aOR 1,22, 95 %-CI 1,11–1,36) [113]. Der ILCOR CoSTR kam zu dem Schluss, dass Rettungsdienste die Exposition ihres klinischen Personals bei der Reanimation überwachen und Strategien implementieren sollen, um eine niedrige Exposition anzugehen oder sicherzustellen, dass die behandelnden Teams über Mitglieder verfügen, die erst kürzlich exponiert waren (schwache Empfehlung, sehr niedrige Sicherheit der Evidenz).

Abbruch der Reanimation – Regeln

ADR-Regeln (Abbruch der Reanimation) werden von vielen Rettungsdiensten verwendet. Eine systematische Untersuchung des ILCOR zur Verwendung von ADR-Regeln [109] ergab, dass die Umsetzung der derzeit verwendeten ADR-Regeln einige Patienten mit potenziellen Überlebenschancen nicht berücksichtigt. Das ILCOR empfahl die Verwendung der ADR-Regeln, um Ärzte bei der Entscheidung zu unterstützen, ob Wiederbelebensmaßnahmen am Notfallort eingestellt werden sollen oder ob der Patient unter laufender Reanimation ins Krankenhaus transportiert werden soll (schwache Empfehlung, sehr geringe Evidenz). Entscheidungen zur Beendigung der Reanimation sollen auch den lokalen rechtlichen, organisatorischen und kulturellen Kontext berücksichtigen. Rettungskräfte, die in Systemen arbeiten, in denen ADR durch nichtärztliches Personal nicht legal oder nicht kulturell akzeptabel ist, sollen Patienten unter laufender Reanimation ins Krankenhaus transportieren. Der Abschnitt Ethik enthält spezifischere Anleitungen zur Anwendung der Regeln zum Abbruch der Reanimation.

Behandlung in Reanimationszentren

In einer systematischen Untersuchung des ILCOR wurden die Vorteile der Versorgung in einem speziellen Reanimationszentrum bewertet [19, 108]. Die daraus resultierenden ILCOR-Behandlungsempfehlungen umfassen:

- ▣ Wir empfehlen, erwachsene Patienten mit nichttraumatischem Kreislaufstillstand eher in Reanimationszentren als in Nichtreanimationszentren zu behandeln (schwache Empfehlung, sehr geringe Evidenzsicherheit).
- ▣ Wir können keine Empfehlung für oder gegen eine regionale Triage von OHCA-Patienten zu einem Reanimationszentrum durch den Rettungsdienst (Bypass-Protokolle) oder sekundären Verlegungstransport abgeben.

Weitere Informationen zu Reanimationszentren finden Sie in den Abschnitten „Systeme retten Leben“ und „Postreanimationsbehandlung“.

ALS-Behandlung Algorithmus

Ein Kreislaufstillstand ist entweder mit schockbaren Rhythmen (Kammerflimmern/pulslose ventrikuläre Tachykardie [VF/pVT]) oder nichtshockbaren Rhythmen (Asystolie und pulslose elektrische Aktivität [PEA]) verbunden. Der Hauptunterschied bei der Behandlung von schockbaren Rhythmen ist die Notwendigkeit eines Defibrillationsversuchs. Andere Interventionen, einschließlich hochwertiger Thoraxkompressionen mit minimaler Unterbrechung, Atemwegsmanagement und Beatmung, venöser Zugang, Verabreichung von Adrenalin und die Identifikation und Behandlung reversibler Ursachen, sind bei allen Kreislaufstillständen gleich. Der ALS-Algorithmus (▣ Abb. 3) bietet einen Überblick über die wichtigsten Interventionen. ▣ Tab. 4 enthält eine schrittweise Zusammenfassung [24]. Diese basieren auf dem Expertenkonsens der Autoren. Der ALS-Algorithmus zum Kreislaufstillstand ist auf alle Kreislaufstillstände anwendbar. Zusätzliche Maßnahmen können bei einem Kreislaufstillstand

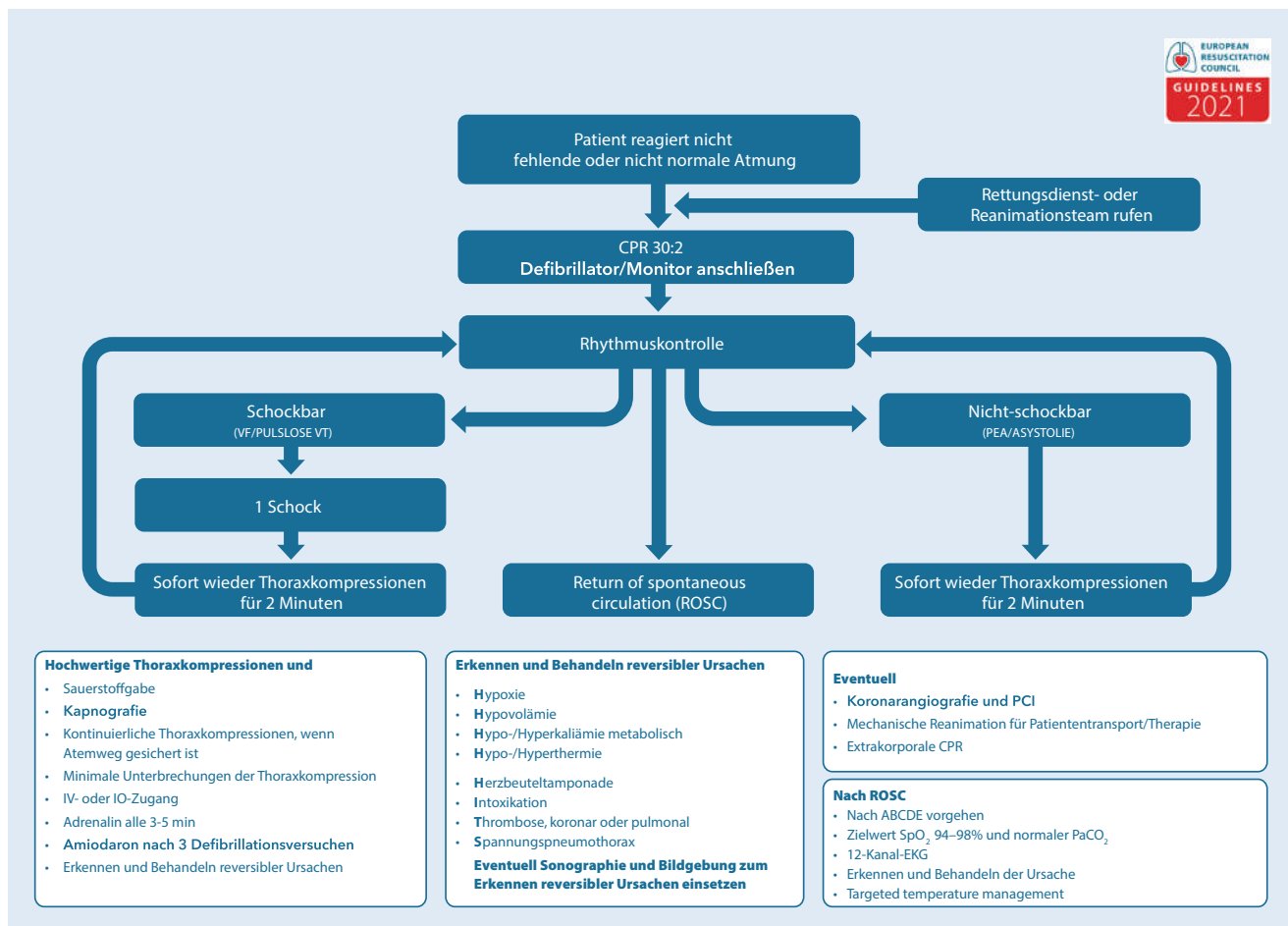


Abb. 3 ▲ Advanced-Life-Support-Algorithmus. *ABCDE* bezeichnet Atemwege, Atmung, Kreislauf, Neurologie, Exposition/ Umwelt, *CPR* kardiopulmonale Wiederbelebung, *EKG* Elektrokardiogramm, *EMS* notfallmedizinisches System, *PEA* pulslose elektrische Aktivität, *PaCO₂* arterieller Partialdruck von Kohlendioxid, *ROSC* Rückkehr des spontanen Kreislaufs, *SpO₂* arterielle Sauerstoffsättigung, *VF* Kammerflimmern, *VT* ventrikuläre Tachykardie

angezeigt sein, der durch besondere Umstände verursacht wird.

Manuelle Defibrillation

Defibrillation ist eine wichtige Komponente der CPR, da sie das Potenzial hat, VF/pVT zu beenden und ROSC zu erreichen. Eine Defibrillation ist bei etwa 20 % der Kreislaufstillstände angezeigt. Da ihre Wirksamkeit mit der Zeit und der VF-Dauer abnimmt, müssen Defibrillationsversuche rechtzeitig erfolgen unter Beibehaltung von Effizienz und Sicherheit. Kenntnisse in der Anwendung eines Defibrillators (manuell oder AED) sind der Schlüssel für Helfer, die fortgeschrittene Reanimationsmaßnahmen durchführen. Rettungskräfte, die einen manuellen Defibrillator verwenden, sollen anstreben, weniger als 5 s zu benötigen, um

einen schockbaren Rhythmus des Kreislaufstillstands zu erkennen und die Entscheidung zur Schockabgabe zu treffen, um die Unterbrechung der Thoraxkompressionen zu minimieren.

Seit 2015 beziehen sich die Defibrillationsleitlinien des ERC ausschließlich auf biphasische Energiewellenformen und in diesen Leitlinien für 2021 nur auf die Verwendung von Defibrillationselektroden (anstelle von Paddles) [24].

Die Evidenz für diesen Abschnitt basiert auf den ILCOR 2020 CoSTR, den ERC-2015-ALS-Richtlinien und dem Expertenkonsens [2, 24, 110].

Strategien zur Minimierung der Peri-Schock-Pause

Die Verzögerung zwischen dem Unterbrechen der Thoraxkompressionen und der Schockabgabe (die Prä-Schock-Pau-

se) muss auf ein absolutes Minimum beschränkt werden; selbst eine Verzögerung von 5 bis 10 s verringert die Wahrscheinlichkeit, dass der Schock erfolgreich ist [135–140]. Die Prä-Schock-Pause kann auf weniger als 5 s reduziert werden, indem die Thoraxkompressionen während des Aufladens des Defibrillators fortgesetzt werden und indem das Team von einem Teamleader koordiniert wird, der effektiv kommuniziert [141, 142]. Die Sicherheitsüberprüfung zur Vermeidung eines Kontakts des Retters mit dem Patienten im Moment der Defibrillation soll schnell, aber effizient durchgeführt werden. Die Verzögerung zwischen der Schockabgabe und der Wiederaufnahme der Thoraxkompressionen (Pause nach dem Schock) wird minimiert, indem die Thoraxkompressionen nach der Schockabgabe sofort wieder aufgenommen wer-

Tab. 4 Empfehlungen für die akute Behandlung der Schmal- und Breitkomplextachykardie

Medikament/ Verfahren	Indikation	Zeitliche Koordinie- rung	Dosis/Verabreichungsart	Anmerkungen
Vagales Manöver	Schmale QRS-Tachykardie Breite QRS-Tachykardie	–	Mit ausreichender Kraft in eine 10-ml-Spritze blasen und den Kolben bewegen lassen	Am besten in Rückenlage mit erhöhter Beinlagerung [114–117]
Adenosin	Schmale QRS-Tachykardie Breite QRS-Tachykardie	Empfohlen, wenn Vagusmanöver fehlschlägt	Stufenweise, beginnend bei 6 mg, gefolgt von 12 mg IV Eine Dosis von 18 mg soll dann in Betracht gezogen werden	Wenn keine Anzeichen einer Präexzitation beim Ruhe-EKG vorliegen [118–120] Berücksichtigen Sie bei einer Dosis von 18 mg die Verträglichkeit/Nebenwirkungen des einzelnen Patienten
Verapamil oder Diltiazem	Schmale QRS-Tachykardie	In Betracht ziehen, wenn Vagusmanöver und Adenosin fehlschlagen	Verapamil (0,075–0,15 mg/kg IV [durchschnittlich 5–10 mg] über 2 min) Diltiazem (0,25 mg/kg IV [durchschnittlich 20 mg] über 2 min)	Soll bei Patienten mit hämodynamischer Instabilität und bei HF mit reduzierter LV-Ejektionsfraktion (< 40 %) vermieden werden [118, 120–125]
Betablocker (IV Esmolol oder Metoprolol)	Schmale QRS-Tachykardie	In Betracht ziehen, wenn Vagusmanöver und Adenosin fehlschlagen	Esmolol (0,5 mg/kg IV Bolus oder 0,05–0,3 mg/kg/min Infusion) Metoprolol (2,5–15 mg IV in 2,5 mg Boli)	Wirksamer bei der Senkung der Herzfrequenz als bei der Beendigung der Tachykardie [124, 126–128]
Procainamid	Breite QRS-Tachykardie	In Betracht ziehen, wenn Vagusmanöver und Adenosin fehlschlagen	10–15 mg/kg IV über 20 min	[129, 130]
Amiodaron	Schmale und breite QRS-Tachykardie	In Betracht ziehen, wenn Vagusmanöver und Adenosin fehlschlagen	300 mg IV über 10–60 min je nach Umständen – gefolgt von einer Infusion von 900 mg in 24 h	[131, 132]
Magnesium	Polymorphe breite QRS-Tachykardie (Torsades de Pointes [TdP])	–	2 g IV über 10 min. Kann bei Bedarf einmal wiederholt werden	Magnesium kann TdP-Episoden unterdrücken, ohne die QT-Zeit notwendigerweise zu verkürzen, selbst wenn die Magnesiumkonzentration im Serum normal ist [133, 134]

(Medikamente können im Notfall über peripheren Zugängen verabreicht werden. HF Herzinsuffizienz, LV linksventrikulär)

den [2]. Wenn klinische und physiologische Anzeichen für einen ROSC vorliegen (z. B. arterielle Wellenform, Anstieg des etCO_2), können die Thoraxkompressionen für eine Rhythmusanalyse kurz unterbrochen werden. Der gesamte Prozess der manuellen Defibrillation soll mit einer Unterbrechung der Thoraxkompressionen in weniger als 5 s erreichbar sein.

Reanimation versus Defibrillation als Erstbehandlung

Eine systematische Übersichtsarbeit des ILCOR aus dem Jahr 2020 untersuchte, ob eine bestimmte Zeitspanne (typischerweise 1,5–3 min) der Thoraxkompressionen vor der Schockabgabe im Vergleich zu einer kurzen Zeitspanne der Herzdruckmassage vor der Schockabgabe die Ergebnisse der Reanimation beeinflusst. Die Ergebnisse unterschieden sich nicht, wenn die Reanimation bis zu 180 s vor dem Defibrillations-

versuch durchgeführt wurde, verglichen mit der direkten Rhythmusanalyse und Defibrillationsversuch [110]. Daher wird die routinemäßige Durchführung von Thoraxkompressionen über eine vordefinierte Dauer (z. B. 2–3 min) vor der Rhythmusanalyse und der Abgabe eines Schocks nicht empfohlen. Rettungskräfte sollen bei einem nichtbeobachteten Kreislaufstillstand eine kurze Reanimation durchführen, bis der Defibrillator für die Rhythmusanalyse bereit ist (schwache Empfehlung, Evidenz mit geringer Gewissheit). Die Defibrillation soll dann, wenn angezeigt, ohne Verzögerung durchgeführt werden. Eine sofortige Defibrillation von VF jeglicher Amplitude soll am Ende eines jeden 2-Minuten-Zyklus versucht werden.

In den ERC-ALS-Leitlinien von 2015 heißt es, dass bei Zweifeln, ob es sich bei dem Rhythmus um eine Asystolie oder ein extrem feines VF handelt, keine Defibrillation versucht werden soll; stattdes-

sen sollen die Thoraxkompressionen und Beatmung fortgesetzt werden [24]. Wir möchten klarstellen, dass ein Schock gegeben werden soll, wenn der Rhythmus eindeutig als VF beurteilt wird.

Vorausschauendes Laden des Defibrillators

Bei dieser Methode wird der Defibrillator geladen, wenn sich das Ende eines Kompressionszyklus nähert, aber bevor der Rhythmus überprüft wird. Wenn die Herzdruckmassage kurz unterbrochen wird, um den Rhythmus zu überprüfen, kann sofort ein Schock von einem bereits aufgeladenen Defibrillator abgegeben werden (wenn dies indiziert ist), sodass eine weitere Thoraxkompression vermieden wird, während der Defibrillator aufgeladen wird. Diese Methode wurde vom ILCOR im Jahr 2020 überprüft, da die Technik bereits als Alternative zur herkömmlichen Sequenz eingesetzt wird [143]. Studien an Reanimationspuppen

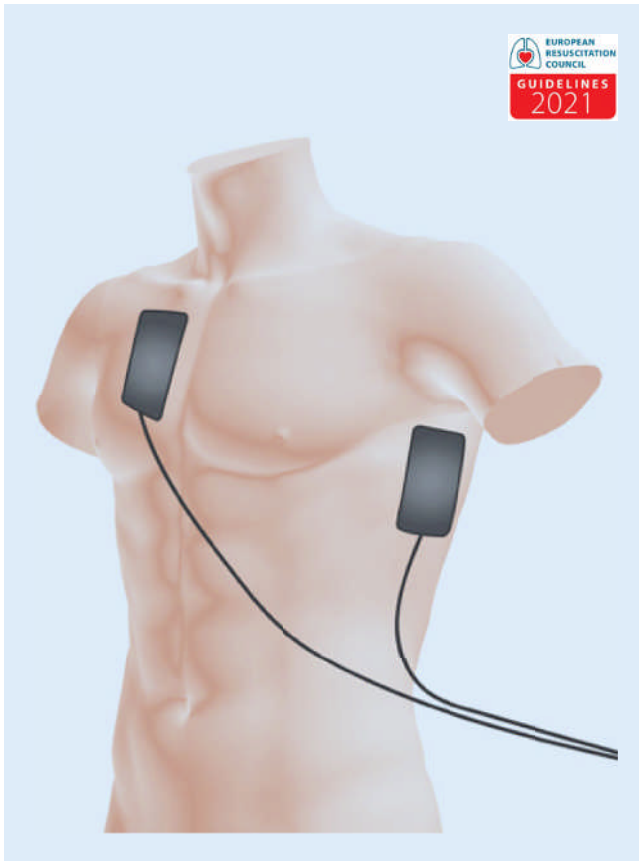


Abb. 4 ◀ Platzierung der Defibrillationselektroden für ALS Anwender (© Charles Deakin)

zeigen, dass das vorzeitige Aufladen möglich ist und die Gesamtunterbrechung der Thoraxkompressionen reduzieren kann, aber die Pausendauer vor und nach dem Schock erhöht. Diese Technik kann eine vernünftige Alternative für gut ausgebildete Teams sein, um die Pausendauer vor und nach dem Schock zu minimieren. Klinische Studien sind erforderlich, um die beste Technik für die manuelle Defibrillation zu bestimmen.

Sichere Verwendung von Sauerstoff während der Defibrillation

In einer mit Sauerstoff angereicherten Atmosphäre kann die Funkenbildung durch schlecht angewendete Defibrillatorpaddles einen Brand und erhebliche Verbrennungen beim Patienten verursachen [144–149]. Obwohl Defibrillationselektroden im Hinblick auf Lichtbogenbildung und Funkenbildung sicherer sind als Paddles, bleiben die Empfehlungen für die sichere Verwendung von Sauerstoff während der Defibrillation in diesen Richtlinien unverändert. Die

Brandgefahr während eines Defibrillationsversuchs kann durch die folgenden Vorsichtsmaßnahmen minimiert werden:

- Nehmen Sie die Sauerstoffmaske oder Nasenkanüle ab und platzieren Sie sie mindestens 1 m vom Brustkorb des Patienten entfernt.
- Lassen Sie den Beatmungsbeutel oder das Beatmungsgerät an den Endotrachealtubus oder den supraglottischen Atemweg angeschlossen. Evtl. vorhandener Sauerstoffaustritt wird vom Brustkorb weggeleitet.
- Wenn der Patient an ein Beatmungsgerät angeschlossen ist, z. B. im Operationsaal oder auf der Intensivstation, lassen Sie den Beatmungsschlauch an den Endotrachealtubus angeschlossen.

Kontakt der Elektroden mit dem Brustkorb und deren anatomische Position

Seit den Leitlinien von 2015 gibt es keine neuen Erkenntnisse über die optimale Position der Defibrillationselektroden

[24]. Die im Folgenden beschriebenen Techniken zielen darauf ab, externe Defibrillationselektroden (selbstklebende Pads) in einer optimalen Position zu platzieren, um die transmyokardiale Stromdichte zu maximieren und die transthorakale Impedanz zu minimieren. In keiner Humanstudie wurde die Padposition als Determinante für ROSC oder Überleben nach VF/pVT untersucht [110]. Der transmyokardiale Strom während der Defibrillation ist wahrscheinlich am größten, wenn die Elektroden so platziert werden, dass der Bereich des Herzens, der fibrilliert (z. B. Ventrikel bei VF/pVT, Vorhöfe bei AF), direkt zwischen ihnen liegt. Daher ist die optimale Elektrodenposition für ventrikuläre und atriale Arrhythmien möglicherweise nicht dieselbe.

Elektrodenplatzierung bei ventrikulären Arrhythmien und Kreislaufstillstand.

Platzieren Sie die Elektroden in der konventionellen anterolateralen (sternal-apikalen) Position. Die rechte (sternale) Elektrode wird rechts vom Sternum, unterhalb des Schlüsselbeins platziert. Die apikale Elektrode wird in der linken mittleren Axillarlinie platziert, ungefähr auf Höhe der V6-EKG-Elektrode. Die Position soll frei von jeglichem Brustgewebe sein [150]. Es ist wichtig, dass die Elektrode ausreichend seitlich angebracht ist (▣ Abb. 4) und in der Praxis soll die Elektrode direkt unter der Achselhöhle platziert werden [151]. Andere akzeptable Elektrodenpositionen sind:

- Anbringung der beiden Elektroden an der seitlichen Brustwand, eine auf der rechten und die andere auf der linken Seite (bi-axillär).
- Eine Elektrode in der standardmäßigen apikalen Position und die andere auf dem rechten oberen Rücken.
- Eine Elektrode anterior, über dem linken Präkordium, und die andere Elektrode posterior zum Herzen knapp unterhalb des linken Schulterblatts.

Jede Elektrode kann in jeder Position platziert werden (Apex oder sternal). Eine Beobachtungsstudie bei Patienten, die sich einer elektiven Kardioversion mit ex-

ternen Defibrillatorelektroden unterzogen, zeigte, dass die transthorakale Impedanz niedriger war, wenn die Elektroden in kraniokaudaler Richtung ausgerichtet waren [152]. Ziehen Sie eine Rasur der Brust in Betracht, wenn diese sehr behaart ist und die Elektroden nicht fest haften. Verzögern Sie die Schockabgabe nicht und ziehen Sie ggf. alternative Polsterpositionen in Betracht.

Elektrodenplatzierung für atriale Arrhythmien. Vorhofflimmern wird normalerweise durch funktionelle Wiedereintrittskreise im linken Vorhof aufrechterhalten. Da sich das linke Atrium posterior im Thorax befindet, können Padpositionen, die zu einem posterioren Strompfad führen, theoretisch bei atrialen Arrhythmien wirksamer sein. Obwohl einige Studien gezeigt haben, dass die anteroposteriore Elektrodenplatzierung effektiver ist als die traditionelle anteroapikale Position bei der elektiven Kardioversion von Vorhofflimmern [153, 154], konnte die Mehrheit keinen klaren Vorteil einer bestimmten Elektrodenposition zeigen [155–158]. Die Wirksamkeit der Kardioversion ist möglicherweise weniger abhängig von der Elektrodenposition, wenn biphasische impedanzkompensierte Impulsformen verwendet werden [157–159]. Die folgenden Elektrodenpositionen sind sicher und effektiv für die Kardioversion von atrialen Arrhythmien:

- Traditionelle sternal-apikale Position.
- Anteroposteriore Position (eine Elektrode anterior über dem linken Präkordium und die andere Elektrode posterior zum Herzen, knapp unterhalb des linken Schulterblatts).

Platzierung der Elektrode zur Vermeidung implantierter medizinischer Geräte. Immer mehr Patienten werden mit implantierbaren medizinischen Geräten vorgestellt (z. B. permanenter Schrittmacher, implantierbarer Kardioverter-Defibrillator [ICD]). Für diese Patienten werden medizinische Notfallarmbänder empfohlen. Diese Geräte können während der Defibrillation beschädigt werden, wenn der Strom über Elektroden, welche direkt über dem Gerät platziert wurden, abgegeben wird [160,

161]. Platzieren Sie die Elektroden vom Gerät entfernt (mindestens 8 cm) oder verwenden Sie eine alternative Elektrodenposition (anterior-lateral, anterior-posterior) [160, 162].

„Hands-on“-Defibrillation

Durch die Ermöglichung kontinuierlicher Thoraxkompressionen während der Abgabe des Defibrillationsschocks kann bei der manuellen Defibrillation die Peri-Schock-Pause minimiert und die Fortsetzung der Thoraxkompressionen während der Defibrillation ermöglicht werden. Die Vorteile dieses Ansatzes sind nicht bewiesen, und weitere Studien sind erforderlich, um die Sicherheit und Wirksamkeit dieser Technik zu beurteilen. In einer Post-hoc-Analyse einer multizentrischen Studie wurde kein Vorteil festgestellt, wenn Schocks ohne Unterbrechung der manuellen oder mechanischen Herzdruckmassage abgegeben wurden [163]. Nur elektrische Schutzhandschuhe der Klasse 1, nicht aber klinische Standard-Untersuchungshandschuhe (oder bloße Hände) bieten ein sicheres Maß an elektrischer Isolierung für die „Hands-on“-Defibrillation [164]. Seit den Leitlinien von 2015 wurden keine neuen Studien durchgeführt, und die Empfehlung bleibt daher unverändert [24].

Beatmungsphase

Der positive endexpiratorische Druck (PEEP) erhöht die transthorakale Impedanz und soll während der Defibrillation nach Möglichkeit minimiert werden. Ein Auto-PEEP (Gaseinschluss) kann bei Patienten mit Asthma besonders hoch sein und höhere Energiewerte als üblich für die Defibrillation erforderlich machen [165].

Ein Schock versus drei aufeinanderfolgende Schocks

Im Jahr 2010 wurde empfohlen, dass, wenn eine Defibrillation erforderlich ist, ein einzelner Schock mit sofortiger Wiederaufnahme der Herzdruckmassage nach dem Schock verabreicht werden soll [166, 167]. Diese Empfehlung wurde aus zwei Gründen ausgesprochen. Erstens, um Unterbrechungen der Herzdruckmassage während des Schocks zu minimieren, und zweitens, um angesichts

der größeren Wirksamkeit biphasischer Schocks, wenn ein biphasischer Schock keine Defibrillation bewirkt hat, eine weitere Periode der Thoraxkompressionen zu ermöglichen. Studien konnten nicht zeigen, dass eine bestimmte Schockstrategie für das Überleben von Vorteil ist [168, 169]. Es gibt keine schlüssigen Hinweise darauf, dass eine Einzelschockstrategie im Vergleich zu drei aufeinanderfolgenden Schocks für ROSC oder das Wiederauftreten von VF von Vorteil ist. Angesichts der Hinweise, dass das Outcome durch die Minimierung von Unterbrechungen der Thoraxkompressionen verbessert wird, empfehlen wir im Jahr 2021 weiterhin Einzelschocks für die meisten Situationen (siehe unten).

Wenn eine Defibrillation gerechtfertigt ist, geben Sie einen einzelnen Schock ab und setzen Sie die Thoraxkompressionen unmittelbar nach dem Schock fort [110]. Verzögern Sie die Reanimation nicht für eine erneute Rhythmusanalyse oder eine Pulskontrolle unmittelbar nach der Defibrillation. Setzen Sie die Reanimation für 2 min fort, bis eine erneute Rhythmusanalyse durchgeführt und ein weiterer Schock verabreicht wurde (falls angezeigt). Selbst wenn der Defibrillationsversuch erfolgreich ist, dauert es einige Zeit, bis sich der Post-Schock-Kreislauf etabliert hat, und es ist sehr selten, dass unmittelbar nach der Defibrillation ein Puls tastbar ist [170, 171]. Die Patienten können über 2 min pulslos bleiben, und die Dauer der Asystolie vor dem ROSC kann bei bis zu 25 % der erfolgreichen Schocks länger als 2 min sein [172]. Bei Patienten, bei denen durch die Defibrillation ein perfundierender Rhythmus erreicht wird, ist die Auswirkung der Thoraxkompressionen auf die erneute Induktion von VF nicht klar [173].

Wenn ein Patient einen beobachteten und nachgewiesenen Kreislaufstillstand hat (z. B. im Katheterlabor oder in einem überwachten Intensivbereich innerhalb oder außerhalb des Krankenhauses) und ein manueller Defibrillator schnell verfügbar ist:

- Stellen Sie den Kreislaufstillstand fest und rufen Sie um Hilfe.
- Ist der anfängliche Herzrhythmus ein VF/VT, geben Sie bis zu drei schnell aufeinanderfolgende Schocks.

- Überprüfen Sie nach jeder Defibrillation kurz, ob sich der Rhythmus geändert hat und wenn zutreffend, ob ein ROSC vorliegt.
- Starten Sie die Thoraxkompressionen und setzen Sie die Reanimation 2 min lang fort, wenn der dritte Schock nicht erfolgreich ist.

Diese Dreischockstrategie kann auch zu Beginn eines beobachteten durch VF/VT ausgelösten Kreislaufstillstands überlegt werden, wenn der Patient bereits an einen manuellen Defibrillator angeschlossen ist. Obwohl es keine Daten gibt, die eine Dreischockstrategie unter diesen Umständen unterstützen, ist es unwahrscheinlich, dass die Thoraxkompressionen die bereits sehr hohe Chance auf einen ROSC verbessern, wenn Defibrillation früh in der elektrischen Phase unmittelbar nach dem Einsetzen von VF/pVT erfolgt (Expertenmeinung).

Analyse der Flimmercharakteristik

Es ist möglich, den Erfolg der Defibrillation mit unterschiedlicher Zuverlässigkeit aus der Flimmercharakteristik vorherzusagen [174–196]. Wenn die optimalen Defibrillationswellenformen und der optimale Zeitpunkt der Schockabgabe in prospektiven Studien ermittelt werden können, soll es möglich sein, die Abgabe erfolgloser Hochenergieschocks zu verhindern und die Myokardschädigung zu minimieren. Diese Technologie wird derzeit aktiv entwickelt und untersucht, aber die derzeitige Sensitivität und Spezifität sind nicht ausreichend, um eine Einführung der VF-Wellenformanalyse in die klinische Praxis zu ermöglichen. Obwohl eine große RCT [197] und 20 Beobachtungsstudien [198–217], die seit der Überarbeitung der Leitlinien 2010 veröffentlicht wurden [166, 167], vielversprechende Ergebnisse und einige Verbesserungen dieser Technologie gezeigt haben, gibt es nach wie vor keine ausreichende Evidenz, um den routinemäßigen Einsatz der VF-Wellenformanalyse zur Bestimmung des optimalen Zeitpunkts für einen Schockversuch zu unterstützen [2, 110].

Impulsformen

Biphasische Impulsformen sind mittlerweile als sichere und effektive Impulsformen für die Defibrillation etabliert. Biphasische Defibrillatoren kompensieren die großen Schwankungen der transthorakalen Impedanz durch elektronische Anpassung der Impulsformgröße und -dauer, um eine optimale Stromabgabe an das Myokard zu gewährleisten, unabhängig von der Größe des Patienten (Impedanzkompensation). Es gibt zwei Haupttypen von biphasischen Impulsformen: die biphasische abgeschnittene Exponentialimpulsform und die geradlinige biphasische Impulsform. Eine gepulste biphasische Impulsform, bei welcher der Strom schnell zwischen der Grundlinie und einem positiven Wert oszilliert, bevor er in ein negatives Muster invertiert, ist ebenfalls im klinischen Einsatz [24].

Energieniveaus

Die Defibrillation erfordert die Abgabe einer ausreichenden elektrischen Energie, um eine kritische Masse des Myokards zu defibrillieren, die Wellenfronten des VF zu beseitigen und die Wiederherstellung der spontanen synchronisierten elektrischen Aktivität in Form eines organisierten Rhythmus zu ermöglichen. Die optimale Energie für die Defibrillation ist diejenige, die eine Defibrillation bei minimaler Schädigung des Myokards erreicht [218]. Die Auswahl eines geeigneten Energieniveaus reduziert auch die Anzahl der wiederholten Schocks, was wiederum die Myokardschädigung begrenzt [219].

Optimale Energieniveaus für die Defibrillation sind unbekannt. Die Empfehlungen für Energieniveaus basieren auf einem Konsens nach sorgfältiger Durchsicht der aktuellen Literatur. Obwohl die abgegebenen Energiewerte für die Defibrillation ausgewählt werden, ist es der transmyokardiale Stromfluss, der die Defibrillation erreicht; der elektrische Strom korreliert gut mit der erfolgreichen Defibrillation und Kardioversion [220]. Die Energieniveaus für die Defibrillation sind gegenüber den Leitlinien von 2015 unverändert [24].

Erster Schock. Es wurden relativ wenige Studien veröffentlicht, mit denen die ak-

tuellen Defibrillationsenergieniveaus, die in den Leitlinien von 2010 festgelegt wurden, verfeinert werden können [221]. Es gibt keine Hinweise darauf, dass eine biphasische Wellenform oder ein biphasisches Gerät effektiver ist als das andere. Die Wirksamkeit des ersten Schocks mit biphasischer abgeschnittener Exponentialimpulsform unter Verwendung von 150 bis 200 J wurde mit 86–98% angegeben [222–226]. Die Wirksamkeit des ersten Schocks mit geradliniger biphasischer Impulsform unter Verwendung von 120 J wurde mit 85% angegeben [227]. Vier Studien haben eine Gleichwertigkeit mit biphasischer Defibrillation mit niedriger und höherer Anfangsenergie nahegelegt [228–231], obwohl man vermutet hat, dass eine anfängliche Defibrillation mit niedriger Energie (150 J) mit einem besseren Überleben verbunden ist [232]. Obwohl Humanstudien keine Schädigung (erhöhte Biomarker, EKG-Veränderungen, Ejektionsfraktion) durch eine biphasische Wellenform bis zu 360 J gezeigt haben [228, 233], haben mehrere Tierstudien das Potenzial für eine Schädigung bei höheren Energiewerten nahegelegt [234–237].

Der anfängliche biphasische Schock soll nicht weniger als 120 J für geradlinige biphasische Impulsformen und mindestens 150 J für biphasische abgeschnittene Exponentialimpulsformen betragen. Bei gepulsten biphasischen Impulsformen beginnen Sie bei 120–150 J. Idealerweise soll die anfängliche biphasische Schockenergie mindestens 150 J für alle biphasischen Impulsformen betragen, um die Energieniveaus über alle Defibrillatoren hinweg zu vereinfachen, insbesondere weil die Art der von einem Defibrillator abgegebenen Impulsform nicht gekennzeichnet ist. Die Hersteller sollen das effektive Impulsform-Energieniveau auf der Vorderseite des biphasischen Defibrillators angeben. Wenn dem Helfer die empfohlenen Energieeinstellungen des Defibrillators nicht bekannt sind, verwenden Sie bei einem Erwachsenen die höchste Energieeinstellung für alle Schocks (Expertenmeinung).

Zweiter und nachfolgender Schock. Die Richtlinien von 2010 empfehlen entweder eine feste oder eine eskalierende Ener-

giestrategie für die Defibrillation. Mehrere Studien zeigen, dass, obwohl eine eskalierende Strategie die Anzahl der Schocks, die zur Wiederherstellung eines organisierten Rhythmus erforderlich sind, im Vergleich zur biphasischen Defibrillation mit fester Dosis reduziert [238, 239], sich die ROSC-Raten oder das Überleben bis zur Krankenhausentlassung nicht signifikant zwischen den Strategien unterscheiden [228–230]. Umgekehrt zeigte ein biphasisches Protokoll mit festem Energieniveau hohe Kardioversionsraten (>90%), allerdings konnte eine signifikant niedrigere ROSC-Rate bei rezidivierendem VF nicht ausgeschlossen werden [240]. Mehrere innerklinische Studien, die eine eskalierende Schockenergiestrategie verwenden, haben eine Verbesserung der Kardioversionsraten (im Vergleich zu Protokollen mit fester Dosis) bei Nichtstillstandsrhythmen gezeigt [241–246].

Im Jahr 2020 gibt es weiterhin keine Anhaltspunkte, die für ein festes oder eskalierendes Energieprotokoll sprechen. Beide Strategien sind akzeptabel; wenn jedoch der erste Schock nicht erfolgreich ist und der Defibrillator in der Lage ist, Schocks mit höherer Energie abzugeben, ist es sinnvoll, die Energie für nachfolgende Schocks zu erhöhen.

Rezidivierendes Kammerflimmern (Refibrillation)

Das rezidivierende Auftreten von Fibrillationen wird normalerweise definiert als das „Wiederauftreten von Kammerflimmern“ (engl.: „ventricular fibrillation“, VF) während eines dokumentierten Kreislaufstillstands, welches nach der Beendigung eines VF auftritt, während der Patient durchgehend durch denselben Behandler betreut wird (normalerweise prähospital). Refibrillationen sind häufig und treten bei >50% der Patienten nach initialer Termination des VF durch Schockabgabe auf [238]. Zwei Studien konnten zeigen, dass die Abbruchraten des nachfolgenden Refibrillierens unverändert waren, wenn feste 120 J- bzw. 150 J-Schockprotokolle verwendet wurden [240, 247]. Eine größere Studie zeigte, dass die Abbruchraten der Refibrillation bei wiederholten 200 J-Schocks abnahmen, sofern nicht ein erhöhtes

Energieniveau (360 J) gewählt wurde [238]. In einer retrospektiven Analyse war die Umwandlung von Kammerflimmern in einen regelrechten Rhythmus höher, wenn das Kammerflimmern zum ersten Mal nach einem kreislaufflevantem Rhythmus aufgetreten war und nicht nach einer PEA oder Asystolie [248].

Ausgehend von einer größeren Studie, die einen Vorteil für anschließend höhere Energiestufen bei Refibrillation fand, empfehlen wir [238] folgendes Vorgehen: Wenn nach einer erfolgreichen Defibrillation mit ROSC ein defibrillierbarer Rhythmus auftritt und der eingesezte Defibrillator höhere Energiestufen zu liefern vermag, ist es sinnvoll, die Energiestufen für die folgenden Schocks zu steigern.

Refraktäres Kammerflimmern

Refraktäres Kammerflimmern ist definiert als Fibrillation, die nach drei oder mehr Schocks persistiert. Sie tritt bei etwa 20% der Patienten mit VF auf [238]. Die Dauer eines Kammerflimmerns korreliert negativ mit dem Reanimationserfolg des Patienten. Suchen Sie aktiv nach reversiblen Ursachen und behandeln Sie diese (■ **Abb. 3** ALS-Algorithmus). Stellen Sie sicher, dass sich die Defibrillationsenergie auf der maximalen Einstellung befindet – ein Eskalationsprotokoll kann bei der Behandlung von refraktärem VF effektiver sein. Überprüfen Sie, ob die Defibrillationspads richtig platziert sind (insbesondere das apikale Pad bei anterolateraler Platzierung). Erwägen Sie eine alternative Platzierung der Defibrillationspads (z. B. anteroposterior).

Dual/Double Sequential Defibrillation.

Patienten mit refraktärem VF haben signifikant niedrigere Überlebensraten als Patienten, die auf die Standardwiederbelebungsmaßnahmen ansprechen. Bei der doppelt sequenziellen Defibrillation werden zwei Defibrillatoren verwendet, um zwei überlappende Schocks oder zwei schnelle sequenzielle Schocks abgeben zu können. Dabei erfolgt die Platzierung der Pads einmal mit dem jeweiligen Standard und zusätzlich entweder anterior-posterior oder anterior-lateral. Diese Technik wurde als mögliches Instrument zur Ver-

besserung der Terminierungsrate von VF vorgeschlagen. Das ILCOR gibt für die Benutzung der Double Sequential Defibrillation gegenüber der Standarddefibrillation bei Kreislaufstillstand mit refraktärem schockbarem Rhythmus nur eine bedingte Empfehlung ab. Grund dafür ist die Überprüfung der Effektivität dieser Technik anhand mehrere „case reports“ und einiger Observationsstudien [249–256]. Dabei zeigte sich eine sehr geringe Evidenz [2, 257].

Rhythmusanalyse während der Herzdruckmassage

Einige Defibrillatoren arbeiten mit neuen Softwaretechnologien zur verbesserten Eliminierung von EKG-Bewegungsartefakten, welche während der Thoraxkompressionen erzeugt werden. Damit kann die zugrunde liegende Impulsform in Echtzeit auch während einer Wiederbelebung angezeigt werden. Eine systematische Überprüfung durch das ILCOR fand keine Studien am Menschen, in denen diese Technologie evaluiert wurde, was zu einer nur bedingten Empfehlung aufgrund sehr geringer Evidenzlage führte. Das ILCOR empfiehlt daher keine routinemäßige Verwendung von Algorithmen zur Filterung von Artefakten bei der elektrokardiographischen Rhythmusanalyse während der Wiederbelebung [110]. Besonders vor dem Hintergrund fehlender Evidenz priorisiert das ILCOR die Vermeidung von Mehrkosten, die bei der Verwendung einer neuen Technologie entstünden. Die ILCOR-Arbeitsgruppe hob zudem hervor, dass bei einigen Rettungsdiensten bereits Algorithmen zur Artefaktfilterung für die Rhythmusanalyse während der Reanimation Anwendung finden, und ermutigte das präklinische Rettungspersonal nachdrücklich, über ihre Erfahrungen zu berichten, um eine entsprechende Evidenzbasis in der klinischen Praxis aufzubauen.

Implantierbarer Kardioverter-Defibrillator. Implantierbare Kardioverter-Defibrillatoren (ICD) werden zunehmend üblich, da die älter werdende Bevölkerung immer häufiger mit diesen Geräten versorgt wird. Eine Implantation erfolgt immer dann, wenn ein Patient durch

eine lebensbedrohliche schockbare Arrhythmie akut gefährdet ist oder bereits ein solches Ereignis in der Vergangenheit aufgetreten ist. Üblicherweise implantiert man sie unter dem M. pectoralis unter der linken Klavikula ein (in ähnlicher Position wie Schrittmacher, von denen sie nicht unmittelbar unterschieden werden können). Seit Kurzem können extravasale Geräte subkutan in der linken Thoraxwand implantiert werden, wobei ein Kabel zur linken Seite des Sternums verläuft [258]. In einer kürzlich durchgeführten randomisierten, kontrollierten Studie zeigte sich keine Unterlegenheit des subkutanen ICD gegenüber dem transvenösen ICD in Bezug auf gerätebedingte Komplikationen und nichtindizierte Schockabgaben [259].

Bei der Detektion eines defibrillierbaren Herzrhythmus gibt ein ICD über einen inneren im rechten Ventrikel liegenden Pacing-Draht unmittelbar ca. 40 J (ungefähr 80 J bei subkutanen Geräten) ab. Wird ein VF/VT festgestellt, wird ein ICD nicht mehr als achtmal entladen, kann aber beim Registrieren einer neuen VF/VT-Periode erneut gestartet werden. Patienten mit gebrochenen ICD-Kabeln können wiederholte innere Defibrillationen erleiden, wenn resultierende elektrische Störimpulse fälschlich als defibrillierbarer Herzrhythmus interpretiert werden. Unter diesen Umständen ist der Patient wahrscheinlich bei Bewusstsein, wobei das EKG eine relativ normale Frequenz anzeigt. Ein über dem ICD platzierter Magnet kann die Defibrillatorfunktion ausschalten [162].

Die Entladung eines ICD kann beim Patienten zu einer Kontraktion der Brustmuskulatur führen. Akzidentelle Übertragungen des Stromimpulses auf die Helfer sind beschrieben [260]. In Anbetracht der niedrigen Energiestufen, die von konventionellen ICD entladen werden, ist es unwahrscheinlich, dass ein Helfer zu Schaden kommt, allerdings sind das Tragen von Handschuhen und das Minimieren des Kontakts zum Patienten während der Entladung des Geräts sinnvoll. Der Oberflächenstrom von subkutanen ICD ist wesentlich höher und kann für den Retter einen spürbaren Schock verursachen [261, 262]. Die Kardioverter- und die Pacing-Funktion

sollen nach einer externen Defibrillation immer reevaluiert werden, sowohl um das Gerät selbst als auch um die Pacing- und Defibrillatorreizschwelle der Leitungen zu überprüfen.

Die Schrittmacherimpulsspitzen von Geräten, die für unipolares Pacing programmiert sind, können die AED-Software und das Rettungspersonal verwirren und die Detektion von Kammerflimmern verhindern [263]. Die Diagnosealgorithmen moderner AED erkennen solche Impulsspitzen nicht.

Atemweg und Beatmung

Im Jahr 2015 empfahl das ERC einen schrittweisen Ansatz für das Atemwegsmanagement während der CPR [24]. Seit 2015 wurden drei große RCT zum Atemwegsmanagement für OHCA veröffentlicht [264–266]. Überprüfen Sie die neuesten ERC-Richtlinien für Atemwegsmanagement bei COVID-19.

In einer systematischen Überprüfung durch das ILCOR wurde untersucht, ob die Anwendung einer erweiterten („advanced airway management“, AAM) gegenüber einer alternativen Strategie zum Atemwegsmanagement den Reanimationserfolg verbessert [267, 268]. 78 Beobachtungsstudien wurden eingeschlossen; neun davon befassten sich mit der Frage des richtigen Zeitpunkts eines erweiterten Atemwegsmanagements. Es wurden elf kontrollierte Studien eingeschlossen, nur drei davon waren RCT [264–266]. Die erste dieser RCT verglich die frühe Trachealintubation (TI) mit der Beutelbeatmung (TI verzögert bis nach ROSC) durch Notärzte [265]. Das Ergebnis dieser Studie, an der mehr als 2000 Patienten teilnahmen, war uneindeutig (4,3 % gegenüber 4,2 % für das 28-Tage-Überleben mit günstigem funktionellem Ergebnis [CPC 1–2], kein signifikanter Unterschied). Bemerkenswerterweise betrug die Erfolgsrate trachealer Intubationen 98 %. In der Beutel-Maske-Beatmungsgruppe wurde bei 146 Patienten eine „Rettungsintubation“ (d. h. überkreuzend) durchgeführt, 100 davon aufgrund von Regurgitation. Ebenfalls untersucht wurden laryngeale Intubationen durch Notfallsanitäter in den USA mit 3000 prähospitalen

Kreislaufstillständen. Dabei zeigte sich ein verbessertes 72-Stunden-Überleben (primäres Outcome) in der Gruppe, in der initial laryngeale anstelle von trachealen Intubationen vorgenommen wurden (18,2 % versus 15,3 %; $p = 0,04$) [266]. Die Erfolgsrate der trachealen Intubation betrug jedoch nur 51 %, was möglicherweise die niedrigere Überlebensrate in der Gruppe trachealer Intubationen erklärt. Die dritte dieser RCT war ein Vergleich initialer Anwendung einer supraglottischen i-gel-Atemwegshilfe (SGA) gegenüber trachealer Intubation bei prähospitalen Kreislaufstillstand durch Paramedics im Vereinigten Königreich (UK) [264]. Unter den mehr als 9000 eingeschlossenen Patienten gab es keinen Unterschied im primären Outcome eines günstigen funktionellen Überlebens ($mRS \leq 3$; 6,4 % gegenüber 6,8 %; $P = 0,33$).

In einer großen Beobachtungskohortenstudie der American Heart Association (AHA) zum IHCA unter Zuhilfenahme des Guidelines-Resuscitation-Registers (GWTG-R) wurden 43.314 Patienten untersucht, die innerhalb der ersten 15 min nach Kreislaufstillstand intubiert wurden. Diese wurden mit Patienten verglichen, die innerhalb derselben Zeit nach Kreislaufstillstand zwar die Indikation zur Intubation hatten, jedoch nicht intubiert wurden [269]. Die Zuordnung zu den einzelnen Gruppen basierte auf einem zeitabhängigen Score. Im Vergleich von nicht-intubiert zu intubiert war die tracheale Intubation mit einer niedrigeren ROSC-Rate (Risikoverhältnis [RR] = 0,97; 95 %-CI 0,96–0,99; $p < 0,001$), einem geringeren Überleben bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus ($RR = 0,84$; 95 %-CI 0,81–0,87; $p < 0,001$) und einem schlechteren neurologischen Outcome ($RR = 0,78$; 95 %-CI 0,75–0,81; $p < 0,001$) assoziiert.

Nach Überprüfung der Evidenz für das Atemwegsmanagement während eines Kreislaufstillstands gab die ILCOR-ALS-Arbeitsgruppe die folgenden Behandlungsempfehlungen ab [270]:

- Wir empfehlen die Anwendung einer Beutel-Maske-Beatmung oder einer erweiterten Atemwegsstrategie („advanced airway management“) während der Reanimation bei Er-

wachsenen unabhängig der Umgebungssituation (eingeschränkte Empfehlung, geringe bis mäßige Evidenz).

- Wenn ein erweitertes Atemwegsmanagement angewendet wird, empfehlen wir eine supraglottische Atemwegshilfe für Erwachsene mit OHCA in Situationen mit einer niedrigen Erfolgsrate für tracheale Intubation (eingeschränkte Empfehlung, geringe Evidenz).
- Wenn ein erweitertes Atemwegsmanagement angewendet wird, empfehlen wir eine supraglottische Atemwegshilfe oder eine tracheale Intubation bei Erwachsenen mit OHCA (eingeschränkte Empfehlung, geringe Evidenz).

Patienten erhalten häufig mehrere verschiedene Atemwegsinterventionen, beginnend mit einfachen und hin zu komplexeren Techniken, die zwangsläufig im Verlauf der Behandlung eines Kreislaufstillstands im Sinne eines Stufenschemas angewendet werden [264, 271]. Der beste Atemweg oder verschiedene Kombinationen von Techniken hängen von diversen Umständen ab. Hierzu zählen die Phase der Reanimation (während der Reanimation oder in der Postreanimationsphase) und natürlich die Fertigkeiten des Anwenders. Wenn einfache Atemwegstechniken eine effektive Beatmung ermöglichen, müssen erweiterte Atemwegsicherungen unter Umständen erst nach einem ROSC erfolgen. Ein möglicher Vorteil der Anwendung eines erweiterten Atemwegsmanagements besteht darin, dass die Herzdruckmassage kontinuierlich und ohne Unterbrechung während der Beatmung durchgeführt werden kann. Die meisten Patienten mit ROSC bleiben komatös und benötigen eine Trachealintubation sowie eine mechanische Beatmung (siehe Abschn. „Postreanimationsbehandlung“ [272, 273]).

Atemwegsobstruktion

Bei reanimationspflichtigen Patienten liegt oft eine Verlegung der Atemwege vor. In der Regel handelt es sich hierbei um die Folge des konsekutiven Bewusstseinsverlusts; gelegentlich kann eine Verlegung der Atemwege aber auch

die primäre Ursache für einen Atem- und Kreislaufstillstand sein. Sofortiges Handeln ist notwendig, um die Atemwege zu kontrollieren, ggf. freizumachen und eine Ventilation der Lungen sicherzustellen. Nur so können sekundäre, durch Hypoxie-bedingte Schäden des Gehirns und anderer lebenswichtiger Organe vermieden werden. Ohne eine adäquate Oxygenierung könnte es darüber hinaus unmöglich sein, einen ROSC zu erzielen. Diese Grundsätze gelten möglicherweise nicht für den beobachteten primären Kreislaufstillstand in der Nähe eines Defibrillators. In diesem Fall hat die sofortige Defibrillation Priorität.

Basismaßnahmen der Atemwegsicherung

Es gibt drei Maßnahmen, welche die Atemwege im Fall einer Atemwegsverlegung – verursacht durch die Zunge oder oberhalb davon befindliche Strukturen – frei halten können. Obwohl es kaum publizierte Daten zur Anwendung von nasopharyngealen und oropharyngealen Atemwegshilfen (Wendl- und Guedel-Tubus) während einer CPR gibt, können diese Hilfsmittel – besonders bei länger andauernden Wiederbelebensmaßnahmen – oft hilfreich sein, um die Atemwege offen zu halten.

Sauerstoffgabe während der CPR

Während eines Kreislaufstillstands sind zerebraler Blutfluss und Sauerstoffangebot selbst bei effektiver CPR gering. Auf Grundlage der Erkenntnisse zur Physiologie von Sauerstoffverwertung und Sauerstofftransport des Organismus sowie konsensueller Expertenmeinung empfiehlt das ILCOR während des Kreislaufstillstands die Gabe der höchstmöglichen Sauerstoffkonzentration. Ziel ist es, die Sauerstoffzufuhr zum Gehirn zu maximieren und damit hypoxisch-ischämische Schädigungen zu minimieren [2]. Nach Wiederherstellung eines ROSC soll so früh wie möglich nach Sicherstellung einer zuverlässigen Messung der arteriellen Sauerstoffkonzentration (BGA und/oder Pulsoxymetrie) eine angepasste Sauerstoffgabe erfolgen. Dabei ist eine Sauerstoffsättigung von 94 bis 98 % oder ein arterieller Sauerstoffpar-

tialdruck (P_aO_2) von 10 bis 13 kPa bzw. 75 bis 100 mm Hg anzustreben. (Siehe Abschn. „Postreanimationsbehandlung“ [272, 273]).

Fremdkörperverlegung

Das Vorgehen bei einer Verlegung durch Fremdkörper ist in Kap. 2, „Lebensrettende Basismaßnahmen“, näher beschrieben [274, 275]. Bei einem bewusstlosen Patienten mit einer vermuteten Fremdkörperaspiration, bei dem einfache Maßnahmen nicht zum Erfolg geführt haben, soll unter direkter Laryngoskopie der Fremdkörper mittels Magill-Zange entfernt werden. Um diese Maßnahme sicher durchführen zu können, ist entsprechendes Training vonnöten [110].

Beatmung

Beginnen Sie bei jedem Patienten mit insuffizienter oder fehlender Spontanatmung so früh wie möglich mit künstlicher Beatmung. Die eigene Ausatemluft des Helfers ist für eine Mund-zu-Mund-Beatmung ausreichend. Hier kommen normalerweise die Beutel-Maske-Beatmung oder spezielle Atemwegshilfen (Larynxmaske, Larynxtubus, Endotrachealtubus) zur Anwendung. Geben Sie jeden Atemzug über ungefähr 1 s ab und verabreichen Sie ein Volumen, das der normalen Atemexkursion entspricht (Expertenmeinung). Dies stellt einen Kompromiss zwischen adäquatem Beatmungsvolumen, vermindertem Risiko der Magenblähung und ausreichender Zeit für die Thoraxkompressionen dar. Entgegen der bisherigen Annahme, dass die Verabreichung kontinuierlicher Thoraxkompressionen während der Beutel-Maske-Beatmung das Risiko einer Regurgitation erhöht, zeigte eine Studie über kontinuierliche versus unterbrochene Thoraxkompressionen während der CPR (CCC-Studie), mit mehr als 23.000 Patienten, keinen statistisch signifikanten Überlebensunterschied zwischen beiden Strategien [276]. Folglich empfiehlt das ILCOR ein Kompressions-Beatmungs-Verhältnis von 30:2 bei der Beutel-Maske-Beatmung (Unterbrechung der Thoraxkompressionen zur Beatmung) oder alternativ die kontinuierlichen Thoraxkompressionen ohne Pause bei gleichzeitiger Überdruckbe-

atmung (starke Empfehlung, qualitativ hochwertige Nachweise) [277]. In Europa ist die Anwendung der 30:2-Methode mit pausierten Thoraxkompressionen zur Beatmung am weitesten verbreitet.

Ist der Patient intubiert oder mit einem supraglottischen Atemweg versorgt, soll er unter laufender und ununterbrochener Herzdruckmassage zehnmal pro Minute beatmet werden [278]. Die Larynxmaske erreicht, verglichen mit anderen SGA, nicht die nötige Dichte unter laufenden Thoraxkompressionen. Moderate Leckagen sind akzeptabel (ausgenommen bei erhöhtem Infektionsrisiko, siehe ERC-COVID-19-Leitlinien), da die Luft meistens nach oben über den Mund des Patienten entweicht. Besteht massive Undichtigkeit, welche zu einer insuffizienten Beatmung führt, soll wieder in den Modus 30:2 gewechselt werden.

Passive Sauerstoffgabe. Wenn die Atemwege des Patienten offen sind, scheint die Thoraxkompression allein bereits eine Ventilation zu ermöglichen [279]. Sauerstoff kann passiv appliziert werden, entweder durch Platzierung eines entsprechenden Tubus (Tubus nach Boussignac) [280, 281] oder durch die Kombination von oropharyngealer Atemwegshilfe mit normaler Sauerstoffmaske mit Reservoirbeutel (ohne Rückatmung) [282]. Theoretisch kann eine supraglottische Atemwegshilfe auch verwendet werden, um passiv Sauerstoff zu verabreichen. Hierzu müssten eingehende Untersuchungen folgen. Eine Studie zeigte ein verbessertes neurologisches Outcome bei passiver Sauerstoffzufuhr (orale Atemwege und Sauerstoffmaske) im Vergleich zur Beutel-Maske-Beatmung nach prähospitalen Kreislaufstillstand durch Kammerflimmern. Hierbei handelt es sich jedoch um eine retrospektive Untersuchung mit verschiedensten methodischen Problemen [282]. Die CCC-Studie umfasste eine Kohorte, die mittels passiver Oxygenierung behandelt worden ist. Bis weitere Daten verfügbar sind, wird die Oxygenierung ohne Beatmung für den routinemäßigen Einsatz während der CPR jedoch nicht befürwortet [276].

Auswahl der Atemwegshilfsmittel

Zu den Nachteilen der trachealen Intubation gegenüber der Beutel-Maske-Beatmung gehören:

- Das Risiko der unerkannten Tubusfehlage – dies wird bei Patienten mit präklinischem Kreislaufstillstand verlässlich zwischen 0,5 und 17 % dokumentiert: Notärzte: 0,5 % [283], Sanitäter – 2,4 % [284], 6 % [285, 286], 9 % [287], 17 % [288].
- Eine längere Unterbrechung der Thoraxkompressionen, während die Intubation versucht wird. In einer Studie, die 100 Kreislaufstillstände bei präklinischen Intubationen durch Paramedics untersuchte, betrug die Gesamtzeit der durch die Intubation bedingten Unterbrechung der Herzdruckmassage 110 s („interquartile range“ [IQR] 54–198 s, minimal bis maximal: 13–446 s). In 25 % der Fälle dauerte die Unterbrechung länger als drei Minuten [289]. Die endotracheale Intubation war für 25 % aller Unterbrechungen der CPR verantwortlich.
- Eine verhältnismäßig hohe Misserfolgsquote. Die Intubationserfolgsquote korreliert mit der Intubationserfahrung des einzelnen Anwenders [290]. Die in der PART-Studie dokumentierte Rate an Fehlintubationen von 51 % [266] ist immer noch ähnlich hoch wie in einigen Untersuchungen zur prähospitalen Notfallversorgung von vor 20 Jahren [291, 292].
- Die endotracheale Intubation ist eine Fertigkeit, die schwierig zu lernen und erhalten ist. In einer Studie konnte gezeigt werden, dass Anästhesisten in Ausbildung 125 Intubationen im kontrollierten Umfeld eines OP benötigten, um eine Erfolgsrate von 95 % zu erreichen [293].

Rettungsdienstpersonal, das präklinische Intubationen durchführt, soll diese nur in einem strukturierten, qualitätskontrollierten System vornehmen, das ein umfassendes Training und regelmäßige Möglichkeiten zur Auffrischung beinhaltet (Expertenmeinung).

Laut Empfehlung des ILCOR sollen tracheale Intubationen nur von Anwen-

dern durchgeführt werden, die auch hohe Erfolgsraten bei der Umsetzung dieser Technik vorweisen können [268]. Das ILCOR gibt keine Empfehlung für eine bestimmte zu erreichende Erfolgsrate aus. Stattdessen soll das Niveau einer RCT-Studie erreicht werden, die frühe tracheale Intubation und Beutel-Maske-Beatmung (tracheale Intubation erst nach ROSC) durch Notärzte im präklinischen Setting verglichen hat [265]. Die beobachtete Erfolgsrate trachealer Intubationen in dieser Studie betrug 98 %. Der Expertenkonsens besagt, dass große Intubationserfahrung einen Erfolg über 95 % bei zwei Intubationsversuchen bedeutet.

Die Anwender müssen das Risiko und die Vorteile der Intubation gegenüber der Notwendigkeit abwägen, effektive Thoraxkompressionen durchzuführen. Um Unterbrechungen der Thoraxkompressionen zu vermeiden, ist es sinnvoll, die tracheale Intubation bis nach einem ROSC aufzuschieben, es sei denn, alternative Methoden zur Atemwegssicherung erweisen sich als unzureichend. In der Atemwegssicherung erfahrene Personal soll in der Lage sein, die Laryngoskopie unter kontinuierlichen Thoraxkompressionen durchzuführen, sodass nur eine kurze Pause für das Einführen des Tubus durch die Stimmritzen nötig ist. Der Intubationsversuch soll die Thoraxkompressionen für maximal fünf Sekunden unterbrechen. Ist dies innerhalb dieser Zeitspanne nicht möglich, soll wieder mit Beutel und Maske beatmet werden. Nach Intubation muss die Tubuslage kontrolliert (siehe unten) und der Tubus adäquat gesichert werden.

Videolaryngoskopie. Videolaryngoskope werden zunehmend in der klinischen Anästhesie und intensivmedizinischen Praxis eingesetzt [294, 295]. Vorläufige Studien zeigen, dass die Videolaryngoskopie während der CPR im Vergleich zur direkten Laryngoskopie die Larynx-sicht und die Erfolgsrate der Intubation verbessert [296, 297], das Risiko von Ösophagusintubationen verringert [298] sowie Unterbrechungen der Thoraxkompressionen reduziert [299]. Eine systematische Überprüfung ergab, dass die Videolaryngoskopie durch erfahrene Anwender im präklinischen Umfeld

den Intubationserfolg beim ersten Versuch (RR 0,57; $P < 0,01$; qualitativ hohe Evidenz) und die Gesamterfolgsrate verringerte (RR 0,58; 95 %-CI 0,48–0,69; mäßige Evidenz) [300]. Es stehen mehrere verschiedene Videolaryngoskopie-systeme zur Verfügung, die sich jedoch hinsichtlich Anwendung und Intubationserfolg unterscheiden. Die Autoren (Expertenmeinung) empfehlen, die Wahl des Laryngoskops (Videolaryngoskop, direktes Laryngoskop) durch lokale Protokolle und Überlegungen zur Erfahrungheit des entsprechenden Anwenders zu stützen.

Überprüfung der korrekten Tubuslage

Die schwerwiegendste Komplikation eines Intubationsversuchs besteht in einer unerkannten ösophagealen Intubation. Die entsprechenden Belege zur Untermauerung der Leitlinie sind in langjährigen ILCOR-Empfehlungen zusammengefasst [2, 301, 302]. Die routinemäßige klinische Beurteilung und die sofortige Kapnographie nach Atemwegssicherung verringert das Risiko einer nicht erkannten Fehlfrage erheblich [302, 303]. Die Erstuntersuchung schließt das Beobachten des beidseitigen Hebens des Brustkorbs und der beidseitigen Auskultation axillär über den Lungenfeldern (die Atemgeräusche sollen gleich und adäquat sein) und über dem Epigastrium (hier dürfen keine Atemgeräusche hörbar sein) ein. Klinische Zeichen der korrekten Tubuslage, wie das Beschlagen des Tubus, das Heben des Brustkorbs, Beatmungsgeräusche beim Auskultieren der Lungen und fehlende epigastrische Geräusche (die einem Gasfluss im Magen entsprechen) sind nicht zuverlässig. Die angegebene Sensitivität (Anteil der endotrachealen Intubationen, die korrekt identifiziert wurden) und Spezifität (Anteil der ösophagealen Intubationen, die korrekt identifiziert wurden) der klinischen Prüfung variiert: Sensitivität 74–100 %; Spezifität 66–100 % [283, 304–306].

Die ILCOR ALS Task Force empfiehlt die Kapnographie zur Bestätigung und zur kontinuierlichen Überwachung der Tubuslage während der Reanimation zusätzlich zur klinischen Überprüfung

(starke Empfehlung, niedrige Evidenzklasse) [302]. Die Kapnographie wird dringend empfohlen, da sie während der Reanimation noch weitere Anwendungsmöglichkeiten bietet (siehe unten). Der Nachweis von Kohlendioxid (CO_2) nach sechs Atemzügen zeigt eine Tubuslage in der Trachea oder einem Hauptbronchus an [283]. Die Kampagne „No Trace = Wrong Place“ des britischen Royal College of Anaesthetists betont, dass unmittelbar nach trachealer Intubation (auch während des Kreislaufstillstands) das fehlende Ausatmen von CO_2 stark auf eine Intubation der Speiseröhre hinweist [307].

Die graphische Kapnographie ist anscheinend die sensitivste und spezifischste Methode zur Bestimmung und kontinuierlichen Überwachung der Position eines Endotrachealtubus bei Patienten mit Kreislaufstillstand und soll daher ergänzend zur klinischen Untersuchung (Auskultation und Visualisierung des die Stimmbänder passierenden Tubus) verwendet werden. Tragbare Monitore machen die initiale kapnographische Bestimmung und kontinuierliche Überwachung der Tubusposition in fast allen Situationen möglich, in der Präklinik, der Notfallaufnahme und innerklinisch, wo immer eine Intubation durchgeführt wird.

Ultraschalluntersuchungen des Halses oder eine fiberoptische Visualisierung können durch erfahrene Anwender ebenfalls verwendet werden, um das Vorhandensein eines Trachealtubus in der Luftröhre zu identifizieren. Dies erfordert zusätzliche Ausrüstung und spezielle Fähigkeiten. Die entsprechenden Techniken wurden für diese Richtlinie nicht geprüft.

Krikoiddruck

Die Anwendung des Krikoiddrucks beim Kreislaufstillstand wird nicht empfohlen (Expertenmeinung). Ein erhöhter Krikoiddruck kann die Beatmung, Laryngoskopie, tracheale Intubation und die Anwendung eines supraglottischen Atemwegs beeinträchtigen oder sogar eine vollständige Atemwegsobstruktion verursachen [308].

Sichern des Trachealtubus und der supraglottischen Atemwegshilfe

Die unabsichtliche Dislokation oder Diskonnektion des Endotrachealtubus kann jederzeit passieren, aber mit höherer Wahrscheinlichkeit während der Reanimationsmaßnahmen und dem Patiententransport. Eine supraglottische Atemwegshilfe neigt eher zur Dislokation als ein Trachealtubus [264]. Die effektivste Methode zum Sichern des Trachealtubus oder einer supraglottischen Atemwegshilfe muss noch determiniert werden. Verwenden Sie entweder herkömmliche Klebestreifen oder speziell angefertigte Haltebänder (Expertenmeinung).

Koniotomie

Manchmal ist es nicht möglich, einen apnoischen Patienten mit Beutel und Maske zu beatmen oder einen Endotrachealtubus oder eine alternative Atemwegshilfe einzuführen. Dies kann besonders bei Patienten mit ausgedehnter Gesichtschädelverletzung oder mit einer durch Ödem oder Fremdkörper bedingten Verlegung des Kehlkopfs auftreten. Unter diesen Umständen kann die Zufuhr von Sauerstoff über eine Nadel oder eine chirurgische Koniotomie lebensrettend sein [309]. Eine Tracheotomie ist unter Notfallbedingungen kontraindiziert, da sie eine zeitraubende und riskante Maßnahme darstellt, die ein beträchtliches Maß an chirurgischem Geschick und entsprechende Ausrüstung voraussetzt.

Die chirurgische Koniotomie hingegen ermöglicht einen definitiven Luftweg, der die Beatmung sicherstellen kann, bis eine semielektive Intubation oder Tracheotomie durchgeführt wird. Die Nadelkoniotomie ist eine sehr kurzfristige Methode, die nur kurzzeitig eine Oxygenierung und allenfalls eine minimale CO_2 -Eliminierung ermöglicht.

Flüssigkeitstherapie und Medikamente

Gefäßzugang

Das ILCOR empfiehlt, dass die intravenöse Gabe von Flüssigkeit und Medikamenten gegenüber einem intraossären Zugang während eines Kreislaufstillstands bei Erwachsenen bevorzugt werden soll

[2, 310]. Diese eingeschränkte Empfehlung basiert auf drei retrospektiven Beobachtungsstudien mit geringer Evidenz. Es wurden 34.686 erwachsene Patienten mit präklinischen Kreislaufstillständen untersucht. Die Ergebnisse zeigten einen schlechteren Reanimationserfolg unter der Verwendung von ossären Zugängen [311–313]. Seit dem ILCOR-Review wurden Sekundäranalysen der randomisierten Studien PARAMEDIC2 [314] und ALPS durchgeführt [315]. Diese deuten darauf hin, dass kein signifikanter Unterschied zwischen der Verwendung ossärer respektive intravenöser Zugänge besteht. Einschränkend muss erwähnt werden, dass beiden Studien die Trennschärfe für eine abschließende Aussage fehlt.

Versuchen Sie zuerst einen intravenösen (IV) Zugang, um die Medikamentengabe bei Erwachsenen zu ermöglichen. Ein IO-Zugang kann in Betracht gezogen werden, wenn bei Erwachsenen mit Kreislaufstillstand kein IV-Zugang möglich ist.

Vasopressoren

Das ILCOR überprüfte die Verwendung von Vasopressoren bei Kreislaufstillstand nach der Veröffentlichung der PARAMEDIC2-Studie [268, 316]. Mehrere systematische Reviews und Metaanalysen untersuchten die Standarddosis Adrenalin (1 mg) gegenüber Placebo, die Hochdosis (5–10 mg) gegenüber der Standarddosis (1 mg) Adrenalin, Adrenalin gegenüber Vasopressin und Adrenalin und Vasopressin gegenüber Adrenalin allein [317, 318]. Die Untersuchungen zeigten, dass Adrenalin (1 mg) die Überlebensrate bis zur Krankenhauseinweisung und das Langzeitüberleben (3 Monate) verbesserte, nicht aber das neurologische Outcome. Im Gegensatz dazu verbesserte die Verwendung von hoch dosiertem Adrenalin oder Vasopressin (mit oder ohne Adrenalin) weder das Langzeitüberleben noch das neurologische Outcome.

Diese Daten führten dazu, dass das ILCOR für die Verwendung von Adrenalin während der CPR heute eine starke Empfehlung ausspricht (starke Empfehlung, geringe bis mäßige Evidenz) [268]. Die Argumentation des ILCOR zeigt,

dass die entsprechende Arbeitsgruppe hier dem lebenserhaltenden Nutzen von Adrenalin einen besonders hohen Stellenwert einräumte, obwohl die absolute Effektgröße wahrscheinlich klein und die Auswirkung auf das neurologische Outcome ungewiss ist.

Die PARAMEDIC2-Studie folgt den ERC-ALS-2015-Leitlinien. Diese empfehlen für nicht schockbare Rhythmen die Gabe von Adrenalin sobald ein Gefäßzugang zur Verfügung steht, hingegen für schockbare Rhythmen erst nach der dritten erfolglosen Defibrillation [24]. Eine Metaanalyse der beiden placebokontrollierten Studien (PACA und PARAMEDIC2) untersuchte den Effekt von Adrenalin vs. Placebo bei ROSC. Es zeigte sich, dass die Wirkung von Adrenalin bei Patienten mit einem anfänglich nicht schockbaren Rhythmus größer war als bei denjenigen mit einem initial schockbaren Rhythmus [319]. Ähnliche Ergebnisse wurden für das längerfristige Überleben und das neurologische Outcome beobachtet, obwohl die Unterschiede in den Wirkungen weniger ausgeprägt waren [319]. Eine Sekundäranalyse der PARAMEDIC2-Studie, die die Zeit bis zur Verabreichung des Arzneimittels untersuchte, ergab, dass sich die relativen Behandlungseffekte von Adrenalin über die Zeitdauer hinweg nicht veränderten, die Überlebensraten und das neurologische Outcome jedoch abnahmen. Das deutet darauf hin, dass eine frühzeitige medikamentöse Intervention womöglich zum Reanimationserfolg beiträgt [320].

Diese Ergebnisse veranlassten das ILCOR, die Verabreichung von Adrenalin zu empfehlen, sobald dies für nicht schockbare Rhythmen (PEA/Asystolie) möglich ist (starke Empfehlung, Hinweise mit sehr geringer Sicherheit). Für schockbare Rhythmen (VF/pVT) schlägt das ILCOR die Verabreichung von Adrenalin nach erfolglosen Defibrillationsversuchen während der Wiederbelebung vor (schwache Empfehlung, sehr wenig sichere Evidenz).

In Übereinstimmung mit den Behandlungsempfehlungen des ILCOR empfiehlt das ERC die schnellstmögliche Gabe von Adrenalin 1 mg IV (IO) bei erwachsenen Patienten mit Kreis-

laufstillstand und nicht schockbarem Rhythmus. Patienten mit schockbarem Rhythmus erhalten 1 mg Adrenalin IV (IO) nach der dritten initialen Defibrillation. Wiederholen Sie Adrenalin 1 mg IV (IO) alle 3–5 min, solange die ALS-Maßnahmen fortgeführt werden.

Wurden bei beobachtetem Kreislaufstillstand bereits initial drei aufeinanderfolgende Schocks abgegeben, sollen diese in Bezug auf den Zeitpunkt der ersten Adrenalinosis als ein initialer Schock betrachtet werden.

In Übereinstimmung mit der ILCOR-Behandlungsempfehlung unterstützt das ERC die Verwendung von Vasopressin während eines Kreislaufstillstand nicht.

Antiarrhythmika

Im Jahr 2018 hat das ILCOR den Konsens über die Empfehlung zu Forschung und Behandlung von Antiarrhythmika aktualisiert [321]. Bei der Literaturrecherche wurden bis zum 10. Februar 2020 keine weiteren relevanten Studien identifiziert.

Das systematische ILCOR-Review analysierte 14 randomisierte, kontrollierte Studien und 17 Beobachtungsstudien, in denen Lidocain, Amiodaron, Magnesium, Bretylium, Nifekalant und Procainamid bewertet wurden [322]. Eine Metaanalyse randomisierter Studien bei Erwachsenen ergab, dass keines der Antiarrhythmika das Überleben oder das neurologische Ergebnis im Vergleich zu Placebo verbesserte. Die Metaanalyse konnte allerdings zeigen, dass Lidocain im Vergleich zu Placebo ein verbessertes ROSC bewirkt (RR = 1,16; 95%-CI 1,03–1,29, $p = 0,01$).

In der größten und neusten randomisierten Studie wurden Amiodaron, Lidocain oder Placebo bei Patienten mit refraktärem VF/PVT nach mindestens einem Defibrillationsversuch verglichen. Im Vergleich zu Placebo erhöhten Amiodaron und Lidocain das Überleben bis zur Krankenhauseinweisung. Es gab jedoch keinen Unterschied im Überleben bis zur Krankenhauseinweisung oder im neurologischen Outcome bei Entlassung zwischen den Gruppen [323]. In der Subgruppe von Patienten mit durch Dritte beobachtetem Kreislaufstillstand erhöhten Amiodaron und Lidocain das Überleben bis zur Krankenhauseinweisung ge-

genüber der Placebogruppe. Gleiches galt für die Gabe von Amiodaron nach einem durch Rettungspersonal beobachteten Kreislaufstillstand.

Aufgrund dieser Datenlage empfiehlt das ILCOR die Anwendung von Amiodaron oder Lidocain bei Erwachsenen mit schockrefraktärem VF/PVT (schwache Empfehlung, geringe Evidenz) [321]. Es zeigt sich, dass die ILCOR-Arbeitsgruppe hier die Subgruppenanalyse aus der ALPS-Studie priorisierte, die ein verbessertes Überleben mit Amiodaron und Lidocain bei Patienten mit durch Dritte beobachtetem Kreislaufstillstand zeigte. Die Verwendung von Magnesium, Bretylium, Nifekalant oder Procainamid wird durch das ILCOR nicht unterstützt.

Im Jahr 2018 aktualisierte das ERC seine Leitlinie und empfahl darin die Gabe von Amiodaron nach drei Defibrillationsversuchen, unabhängig davon, ob es sich um Folgeschocks oder durch CPR unterbrochene Schocks bei wiederkehrendem VF/VT handelt [324]. Die initial empfohlene Dosis beträgt Amiodaron 300 mg; nach fünf Defibrillationsversuchen kann eine weitere Dosis von 150 mg verabreicht werden. Die Empfehlung zugunsten von Amiodaron basierte auf den Stimmen von 21 der 24 nationalen Resuscitation Councils in Europa, die angaben, dass Amiodaron als das Hauptmedikament während der CPR angewendet wird [324]. Lidocain 100 mg IV (IO) kann als Alternative verwendet werden, wenn Amiodaron nicht verfügbar ist oder vor Ort die Entscheidung getroffen wurde, Lidocain statt Amiodaron zu verwenden. Auch Lidocain kann nach fünf Defibrillationsversuchen als ein zusätzlicher Bolus von 50 mg gegeben werden [324].

Thrombolytische Therapie

Der ILCOR-Konsens 2020 mit Behandlungsempfehlungen bündelte die Evidenz einer Untergruppenanalyse der TROICA-Studie [325] und 4 Beobachtungsstudien [326–329], die die Verwendung von Thrombolytika bei Kreislaufstillstand untersuchten, der durch vermutete oder bestätigte Lungenembolie (LE) verursacht wurde. Die Studien fanden keine Hinweise darauf, dass Thrombolytika das neurologische Behandlungsergebnis verbesserten [325,

328]. Im Gegensatz dazu war in einer Studie das 30-Tage-Überleben in der Interventionsgruppe höher (16% gegenüber 6%; $P = 0,005$) [329], aber nicht in 3 anderen Studien, in denen das Überleben bis zur Entlassung untersucht wurde [326–328]. Die ROSC-Rate hat sich in einer Studie ebenfalls verbessert [327], in zwei anderen jedoch nicht [326, 328]. Für die Verwendung von Thrombolytika bei Verdacht auf oder Bestätigung von LE und Kreislaufstillstand kann wegen mangelnder Evidenz lediglich eine schwache Empfehlung gemacht werden. Die ILCOR Task Force geht davon aus, dass die potenziellen Vorteile die potenziellen Schäden durch Blutungen überwiegen [2].

Der ERC unterstützt die Empfehlung des ILCOR, die den ERC-Richtlinien von 2015 entspricht [24]. Der ERC empfiehlt den routinemäßigen Einsatz von Thrombolytika bei Kreislaufstillstand nicht, es sei denn bei vermuteter oder bestätigter LE. Wenn Thrombolytika verabreicht wurden, sollen die Wiederbelebensmaßnahmen mindestens 60 bis 90 min lang vor Abbruch fortgeführt werden [330–332].

Flüssigkeitstherapie

Keine randomisierte, kontrollierte Studie hat die routinemäßige Verabreichung von Flüssigkeit im Vergleich zu keiner Flüssigkeitstherapie als Behandlungsstrategie für den Kreislaufstillstand untersucht. Zwei große randomisierte Studien zeigen indirekte Evidenz für die Anwendung einer Hypothermie, die die Verabreichung von bis zu 2 l eiskalter, intravenöser Flüssigkeit beim OHCA [333] oder unmittelbar nach ROSC umfasst [334]. Die Studien ergaben keine Verbesserung der kurz- [333, 334] oder langfristigen Behandlungsergebnisse [335]. Die Studien berichteten über Hinweise auf eine verringerte ROSC-Rate bei Patienten mit VF [333], eine erhöhte Re-Arrest-Rate [334] und höhere Rate von Lungenödem [333, 334]. Aus diesen Studien geht nicht hervor, ob die schädlichen Auswirkungen durch das Flüssigkeitsvolumen oder die Temperatur der infundierten Flüssigkeiten entstehen [336]. Auf der Grundlage des Expertenkonsenses hält das ERC jedoch an seiner Empfehlung

fest, die routinemäßige Infusion von großvolumigen Flüssigkeiten zu vermeiden, wenn keine Hinweise auf den Verdacht einer hypovolämischen Ursache des Kreislaufstillstands vorliegen.

Kapnographie während erweiterter Reanimationsmaßnahmen ALS

Diese Richtlinie basiert auf einer ILCOR-Evidenzaktualisierung [2], einer kürzlich durchgeführten systematischen Übersichtsarbeit [303], einer narrativen Übersichtsarbeit [337] und den vorherigen ERC-ALS-Richtlinien von 2015 [24]. Endtidales Kohlendioxid ist der Partialdruck des Kohlendioxids ($p\text{CO}_2$), das am Ende der Expiration gemessen wird. Es spiegelt das Herzzeitvolumen, die Gewebepfusion, den pulmonalen Blutfluss sowie das Atemminutenvolumen wider. Kohlendioxid wird in perfundierten Geweben durch aeroben Stoffwechsel erzeugt, vom venösen System zur rechten Seite des Herzens transportiert und vom rechten Ventrikel in die Lunge gepumpt, wo es durch alveoläre Belüftung abgeatmet wird.

Die Kapnographie ermöglicht eine kontinuierliche, nichtinvasive Messung von $p\text{CO}_2$ in der ausgeatmeten Luft während der CPR. Im typischen Kapnogramm spiegelt das am Ende der Plateauphase gemessene etCO_2 das alveoläre $p\text{CO}_2$ am besten wider. Endtidales CO_2 ist beim intubierten Patienten am zuverlässigsten, kann aber auch mit einer SGA- oder bei der Maskenbeatmung verwendet werden [338].

Die Ziele der Überwachung der Kapnographie während der CPR umfassen [24, 337]:

- Bestätigung der korrekten Platzierung des Endotrachealtubus (siehe Abschnitt Atemwege).
- Überwachung der Qualität der Wiederbelebung (Ventilationsfrequenz und Thoraxkompressionen). Die Überwachung der Ventilationsfrequenz hilft, eine Hyperventilation während der CPR zu vermeiden. In einem pädiatrischen Wiederbelebensmodell waren tiefere Brustkompressionen mit höheren CO_2 -Werten verbunden [339]. Ob dies

als Empfehlung für die praktische Anwendung und zur Verbesserung der Behandlungsergebnisse verwendet werden kann, bedarf weiterer Untersuchung [340].

- **ROSC während der Wiederbelebung erkennen.** Im Falle eines ROSC kann das CO₂ während der Wiederbelebung bis zu dreimal über die Normwerte angestiegen sein [341]. Daher kann die Kapnographie dazu dienen, einen ROSC während der Wiederbelebung zu erkennen und unnötige Brustkompressionen oder Adrenalingaben zu verhindern. Es wurde jedoch kein spezifischer Schwellenwert für den Anstieg des endtidalen CO₂ für eine zuverlässige Diagnose von ROSC identifiziert. Der Anstieg des etCO₂ kann einige Minuten vor einem wieder palpablen Puls detektiert werden [342–344].
- **Prognose während der CPR.** Das Nichterreichen eines etCO₂-Werts > 10 mm Hg (1,33 kPa) während der CPR ist mit einem schlechten Behandlungsergebnis in Beobachtungsstudien verbunden [303, 345, 346]. Dieser Schwellenwert wurde ebenfalls als Kriterium vorgeschlagen, um eCPR bei refraktärem Kreislaufstillstand vorzuhalten [347]. Die Werte von etCO₂ während der CPR hängen jedoch von mehreren Faktoren ab, einschließlich des Zeitpunkts der Messung (Beginn vs. Ende [348, 349]), Ursache des Kreislaufstillstands [350, 351], Qualität der Brustkompression [339], Ventilationsrate und -volumen [352], Vorhandensein eines Atemwegsverschlusses während der CPR [353] und Verwendung von Adrenalin [354, 355]. Im Allgemeinen neigt etCO₂ dazu, während der CPR bei Patienten, bei denen die Wiederbelebung nicht erfolgreich ist, zu sinken und bei Patienten, die einen ROSC erreichen, tendenziell zuzunehmen [345, 356]. Aus diesem Grund sind etCO₂-Trends möglicherweise besser geeignet als Punktwerte für die Vorhersage von ROSC während der CPR [303]. Die Beweise dafür sind jedoch noch begrenzt [356]. Studien zur Bewertung des prognostischen Werts von

etCO₂ wurden nicht verblindet, was möglicherweise zu einer sich selbst erfüllenden Prophezeiung geführt hat. Ein etCO₂-Wert von 1,33 kPa (10 mm Hg) – gemessen nach endotrachealer Intubation oder nach 20 min CPR – kann ein Prädiktor für ROSC oder das Überleben bis zur Entlassung unter Verwendung von etCO₂ sein. Schwellenwerte allein als Mortalitätsprädiktor oder für die Entscheidung, einen Wiederbelebungsversuch abzubrechen, werden nicht empfohlen [2]. Setzen Sie bei ausgewählten Patienten die CPR fort, um die Implementierung anderer Technologien wie der eCPR zu erleichtern, die Zeit für Behandlungen zu gewinnen und die eine reversible Ursache des Kreislaufstillstands zu behandeln (z. B. Wiedererwärmung nach versehentlicher Unterkühlung, primäre perkutane Koronarintervention innerhalb des Arrests für akute Myokardischämie).

Verwendung der Ultraschallbildgebung während erweiterter Reanimationsmaßnahmen

Die POCUS-Bildgebung (Point-Of-Care-Ultraschall) wird bereits häufig in der Notfallversorgung eingesetzt. Die Verwendung während der CPR nimmt ebenfalls zu. Frühere und aktuelle Leitlinien betonen den Bedarf an qualifizierten POCUS-Anwendern [24].

In einer systematischen ILCOR-Übersichtsarbeit wurde die Rolle von POCUS während eines Kreislaufstillstands als prognostisches Mittel bewertet [357]. Bei der Übersichtsarbeit wurden verschiedene Limitationen festgestellt, wie inkonsistente Definitionen und Terminologie in Bezug auf sonographische Hinweise auf Herzbewegungen, geringe Zuverlässigkeit der Ergebnisse zwischen den Anwendern, geringe Sensitivität und Spezifität für die Behandlungsergebnisse, sowie des nicht festgelegten Zeitpunkts von POCUS [357]. Die Überprüfung ergab, dass kein sonographischer Befund eine ausreichend oder konstant hohe Sensitivität aufwies, um seine Verwendung als einziges Kriterium zur Beendigung der CPR zu unterstützen.

Die Autoren der systematischen ILCOR-Übersichtsarbeit wiesen auf die kritische Prüfung zusätzlicher Unterbrechungen der Thoraxkompressionen bei einem transthorakalen POCUS hin [2, 358, 359].

POCUS kann verwendet werden, um behandelbare Ursachen für einen Kreislaufstillstand wie Herzbeuteltamponade oder Pneumothorax zu diagnostizieren. In den Richtlinien des ERC ALS 2015 wurde eine subxiphoidale Schallkopfposition empfohlen, die unmittelbar vor der Pause der Thoraxkompressionen für eine geplante Rhythmusbewertung platziert wurde [24]. Diese Anwendungen wurden in der systematischen ILCOR-Übersichtsarbeit nicht behandelt. In der Überprüfung wurde jedoch das Problem der isolierten Überinterpretation des Befunds einer rechtsventrikulären Dilatation als diagnostischer Indikator für eine massive Lungenembolie hervorgehoben. Die rechtsventrikuläre Dilatation beginnt einige Minuten nach Beginn des Kreislaufstillstands, wenn sich das Blut entlang seines Druckgradienten vom systemischen Kreislauf zum rechten Herzen verschiebt [360–362]. Eine rechtsventrikuläre Dilatation wurde konsistent in einem Schweinemodell eines Kreislaufstillstands beobachtet, der durch Hypovolämie, Hyperkaliämie und primäre Arrhythmie verursacht wurde [363], und ist ein häufiger Befund, unabhängig von der Ursache der OHCA, während der in der Notaufnahme durchgeführten transösophagealen Echokardiographie [364]. Derzeit gibt es nur begrenzte Kenntnisse über die Verwendung von POCUS während der CPR zur Beurteilung einer tiefen Venenthrombose zur Diagnose einer Lungenembolie, zur Beurteilung eines Pleuraergusses und zur FAST-Beurteilung („focussed assessment with sonography for trauma“) von Bauch und Aorta.

Mechanische Geräte zur Thoraxkompression

Auf der Grundlage der Evidenz aus 8 RCT [365–372] empfahlen die ILCOR-2015-CoSTR- und ERC-Leitlinien nicht die routinemäßige Verwendung automatisierter mechanischer Thoraxkompres-

sionsgeräte, empfahlen jedoch, dass sie eine vernünftige Alternative darstellen, wenn qualitativ hochwertige manuelle Thoraxkompressionen nicht möglich waren oder die Sicherheit des Anwenders nicht gewährleistet war [24, 302].

Diese Evidenzaktualisierung konzentrierte sich auf randomisierte, kontrollierte Studien und systematische Übersichtsarbeiten.

Zwei neue randomisierte Studien wurden identifiziert [373, 374]. Eine Studie untersuchte die Verwendung des Autopulses, der in der Notaufnahme nach OHCA angewendet wurde ($n = 133$). Die Studie ergab, dass die Überlebensrate bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus in der Autopulse-Gruppe höher war (18,8% gegenüber 6,3%, $p = 0,03$), fand jedoch keinen Unterschied im günstigen neurologischen Ergebnis (16,2% gegenüber 13,4%). Eine randomisierte Studie mit 374 Patienten ergab, dass das LUCAS-Gerät keine signifikant schwerwiegenden oder lebensbedrohlicheren viszerale Schäden verursachte als manuelle Brustkompressionen. Für das Autopulse-Gerät können wesentlich schwerwiegendere oder lebensbedrohlichere viszerale Schäden im Vergleich zu manuellen Kompressionen nicht ausgeschlossen werden [373].

Seit der ILCOR-Übersichtsarbeit wurden sechs systematische Übersichtsarbeiten und Metaanalysen veröffentlicht, darunter eine Cochrane-Übersichtsarbeit [375–380]. Signifikante methodische Fehler in einer systematischen Übersichtsarbeit und Metaanalyse führten zum Ausschluss [381]. Vier Übersichtsarbeiten ergaben ähnliche Schlussfolgerungen wie die ILCOR-2015-Übersichtsarbeit, dass die mechanische CPR kritische oder wichtige Behandlungsergebnisse nicht verbesserte [375–378]. Eine Übersichtsarbeit, die sich ausschließlich auf die mechanische CPR im Krankenhaus konzentrierte, ergab Hinweise mit sehr geringer Evidenz, dass mechanische Thoraxkompressionen die Patientenergebnisse in diesem Umfeld verbesserten [379]. Eine Metaanalyse des Bayes'schen Netzwerks ergab, dass die manuelle CPR wirksamer als die des mechanischen Thoraxkompressionsgeräts Autopulse und mit der des

mechanischen Thoraxkompressionsgeräts LUCAS vergleichbar ist [380].

Die Autoren waren der Ansicht, dass die neuen Daten die vorherigen ERC-Richtlinien zur Verwendung mechanischer Brustkompressionsgeräte bei Kreislaufstillstand nicht wesentlich veränderten [24].

Umstände zur Berücksichtigung mechanischer Thoraxkompressionsgeräte

Eine Übersichtsarbeit ergab mehrere spezifische Umstände, unter denen es schwierig ist, eine qualitativ hochwertige manuelle CPR durchzuführen, bei der eine mechanische Reanimation als Alternative in Betracht gezogen werden kann [382]. Beispiele umfassen den Transport in einem Rettungswagen oder Hubschrauber in ein Krankenhaus während einer perkutanen Koronarintervention, diagnostischen Bildgebung sowie einer Computertomographie, als Brücke zur Etablierung einer extrakorporalen CPR oder Aufrechterhaltung des Kreislaufs vor der Organentnahme, wenn die Wiederbelebung nicht erfolgreich ist. Der Konsens der Experten ist, dass mechanische Geräte in Betracht gezogen werden sollen, wenn hochwertige manuelle Kompressionen nicht praktikabel sind oder ein Risiko für die Sicherheit der Rettungskräfte darstellen.

Gerätebereitstellung

Beobachtungsstudien zeigen, dass Unterbrechungen der Thoraxkompressionen, insbesondere unmittelbar vor oder um den Zeitpunkt des Defibrillationsversuchs, schädlich sind [137, 383]. Einige Studien berichten von langen Pausen bei Thoraxkompressionen im Zusammenhang mit der Bereitstellung mechanischer Thoraxkompressionsgeräte [384–386]. Durch Schulung der Anwender können Unterbrechungen auf weniger als 15 s reduziert werden [385, 387]. Der Konsens der Experten ist, dass mechanische Geräte nur in Umgebungen verwendet werden sollen, in denen Teams in ihrem Einsatz geschult sind.

Extrakorporale CPR

Extrakorporale CPR (eCPR) wird von der ELSO (Extracorporeal Life Support Organization) als Anwendung der venoarteriellen extrakorporalen Membranoxygenierung (VA-ECMO) definiert, um bei Patienten, bei denen eine konventionelle CPR keinen ROSC erzielen wird, einen Kreislaufersatz zu leisten [133]. Die Verwendung von eCPR hat in den letzten Jahren sowohl für IHCA als auch für OHCA zugenommen [388–391].

Der ILCOR CoSTR 2019 gab durch eine systematische Übersichtsarbeit die folgende Empfehlung ab [268, 270, 392]:

- Wir schlagen vor, dass eCPR als Therapie für ausgewählte Patienten mit Kreislaufstillstand angesehen werden kann, wenn die konventionelle CPR in Umgebungen, in denen sie durchgeführt werden kann, fehlschlägt (schwache Empfehlung, sehr geringe Evidenzsicherheit).

Es gibt eine kürzlich durchgeführte kleine randomisierte, kontrollierte Studie mit eCPR für OHCA-refraktären VF-Kreislaufstillstand [393] und mehrere andere, die derzeit durchgeführt werden. Es gibt keine allgemein anerkannten Indikationen für eCPR bezüglich der Patienten und des optimalen Zeitpunkts während des konventionellen ALS. Es gibt Richtlinien zum Starten von eCPR [347, 389, 394–396]. Einschlusskriterien wurden in Studien nicht konsistent oder prospektiv getestet [391]. Zu den häufig verwendeten Kriterien gehören:

- Beobachteter Kreislaufstillstand mit Laien-CPR.
- Die Zeit bis zur Etablierung von eCPR beträgt weniger als 60 min ab dem Start der CPR.
- Jüngere Patienten (z. B. unter 65 bis 70 Jahre) und keine größeren Komorbiditäten, die eine Rückkehr zum unabhängigen Leben ausschließen.
- Bekannte oder vermutete behandelbare Ursache des Kreislaufstillstands.

Die Rolle von eCPR für bestimmte Ursachen von Kreislaufstillstand wird in Abschn. „Kreislaufstillstand unter besonderen Umständen“ [397] behandelt. Die Einrichtung einer eCPR-Versor-

gung erfordert einen übergreifenden Ansatz (innerhalb und außerhalb des Krankenhauses) und beträchtliche Ressourcen, um effektiv implementiert zu werden. Nicht alle Gesundheitssysteme verfügen über ausreichende Ressourcen [398–400].

Periarrest-Arrhythmien

Die sofortige Identifizierung und Behandlung von lebensbedrohlichen Arrhythmien kann einen Kreislaufstillstand oder dessen Wiederauftreten verhindern. Dieser Abschnitt bietet Empfehlungen und Behandlungsalgorithmen für den nicht spezialisierten ALS-Anwender. Der Schwerpunkt liegt auf Periarrest-Arrhythmien, die zu lebensbedrohlicher Instabilität führen. Wenn die Patienten stabil sind, bleibt Zeit, sich von einem Spezialisten beraten zu lassen. Andere internationale Organisationen haben umfassende evidenzbasierte Richtlinien für Arrhythmien erstellt [90, 95, 401–404]. Bei Periarrest-Patienten mit klinisch instabiler Arrhythmie ist eine elektrische Kardioversion erforderlich, während bei refraktärer Bradykardie die Behandlung mittels Herzschrittmacher angewendet wird. Die wichtigsten Interventionen sind in den **Abb. 5 und 6** zusammengefasst.

Diese Richtlinien folgen den Empfehlungen internationaler kardiologischer Gesellschaften, darunter der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie (ESC), der American Heart Association (AHA), des American College of Cardiology (ACC) und der Heart Rhythm Society (HRS) [90, 95, 401–404]. **Tab. 4** fasst die Evidenz für Vagusmanöver und einige der am häufigsten verwendeten Medikamente zur Behandlung von Arrhythmien zusammen.

Die pharmakologische Kardioversion stellt bei etwa 50 % der Patienten mit kürzlich aufgetretenem Vorhofflimmern den Sinusrhythmus wieder her. Unter den verschiedenen vom ESC vorgeschlagenen Medikamenten zur pharmakologischen Konversion werden Betablocker und Diltiazem/Verapamil und Digoxin vorgezogen [405], da sie bei hohem Sympathikotonus schnell und effektiv wirken. Bei Patienten mit LVEF < 40 % soll die

kleinste Betablockerdosis in Betracht gezogen werden, um eine Herzfrequenz von weniger als 110 Schlägen/min zu erreichen. Bei Bedarf ist die medikamentöse Therapie durch Digoxin zu ergänzen. Amiodaron ist das Medikament, das Un-erfahrenen am wahrscheinlichsten bekannt ist, und kann für die akute Herzfrequenzkontrolle bei Patienten mit Vorhofflimmern (AF) mit hämodynamischer Instabilität und stark reduzierter linksventrikulärer Ejektionsfraktion (LVEF) in Betracht gezogen werden.

Die ESC hat kürzlich Leitlinien für die akute Behandlung regelmäßiger Tachykardien veröffentlicht, wenn keine bestehende Diagnose vorliegt [95]. Die Richtlinien zur Behandlung von regulären Tachykardien mit schmalen QRS (≤ 120 ms) und breitem QRS (> 120 ms) wurden in den Tachykardiealgorithmus aufgenommen. Die ESC-Leitlinien enthalten detailliertere Empfehlungen und Evidenz für die Behandlung, sobald eine spezifische Diagnose des Rhythmus gestellt wurde.

In einer randomisierten Studie mit hämodynamisch stabilen Patienten mit breiter QRS-Komplex-Tachykardie unbekannter Ätiologie war Procainamid im Vergleich zu Amiodaron mit weniger schwerwiegenden unerwünschten kardialen Ereignissen und einem höheren Anteil an Tachykardiebeendigungen innerhalb von 40 min assoziiert [129]. In vielen Ländern ist Procainamid jedoch entweder nicht verfügbar und/oder nicht lizenziert.

Hinweise für die Behandlung von Patienten mit Bradykardie wurden in die 2019 veröffentlichten ACC/AHA/HRS-Leitlinien aufgenommen (**Abb. 6** Bradykardiealgorithmus) [404]. Wenn Bradykardie mit unerwünschten Symptomen einhergeht, bleibt Atropin das Medikament erster Wahl [24]. Wenn Atropin unwirksam ist, umfassen Arzneimittel der zweiten Linie Isoprenalin ($5 \mu\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$ Anfangsdosis) und Adrenalin ($2\text{--}10 \mu\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$). Bei Bradykardie, die durch einen inferioren Myokardinfarkt, eine Herztransplantation oder eine Rückenmarksverletzung verursacht wird, sollen Sie Aminophyllin ($100\text{--}200$ mg langsame intravenöse Injektion) in Betracht ziehen. Atropin kann bei Herztransplan-

tationspatienten einen hochgradigen atrioventrikulären (AV) Block oder sogar einen Sinusstillstand verursachen [406]. Erwägen Sie die intravenöse Gabe von Glucagon, wenn Betablocker oder Kalziumkanalblocker eine mögliche Ursache für die Bradykardie sind. Erwägen Sie eine Schrittmacherstimulation bei instabilen Patienten mit symptomatischer Bradykardie, die auf eine medikamentöse Therapie nicht anspricht (siehe unten).

Kardioversion

Die elektrische Kardioversion ist die bevorzugte Behandlung für Tachykardie bei instabilen Patienten mit potenziell lebensbedrohlichen Nebenwirkungen (**Abb. 5** Tachykardiealgorithmus) [407–409]. Die Schockabgabe muss synchronisiert sein, damit sie mit der R-Welle des Elektrokardiogramms und nicht mit der T-Welle appliziert wird: Kammerflimmern kann induziert werden, wenn während der Refraktionszeit des Herzzyklus ein Schock abgegeben wird [410]. Die Synchronisation kann bei VT aufgrund der sehr komplexen und variablen Formen ventrikulärer Arrhythmien schwierig sein. Wenn nötig, muss eine andere Ableitung gewählt und/oder die Amplitude angepasst werden. Wählen Sie bei Bedarf eine andere Ableitung und/oder stellen Sie die Amplitude ein. Wenn die Synchronisation fehlschlägt, geben Sie dem instabilen Patienten in der VT nicht-synchronisierte Schocks, um eine längere Verzögerung bei der Wiederherstellung des Sinusrhythmus zu vermeiden. Kammerflimmern oder pulslose VT erfordern nicht-synchronisierte Schocks. Patienten, die bei Bewusstsein sind, müssen vor dem Versuch einer synchronisierten Kardioversion anästhesiert bzw. sediert werden.

Kardioversion bei Vorhofflimmern. Einige Studien [153, 154], aber nicht alle [156, 159], haben gezeigt, dass die anteroposteriore Padposition effektiver ist als die anterolaterale Padposition. Dennoch sind beides akzeptable Positionen [157]. Es werden weitere Daten benötigt, bevor spezifische Empfehlungen für optimale biphasische Energielevels abgegeben werden können. Biphasische geradlinige und biphasische abgeschnittene

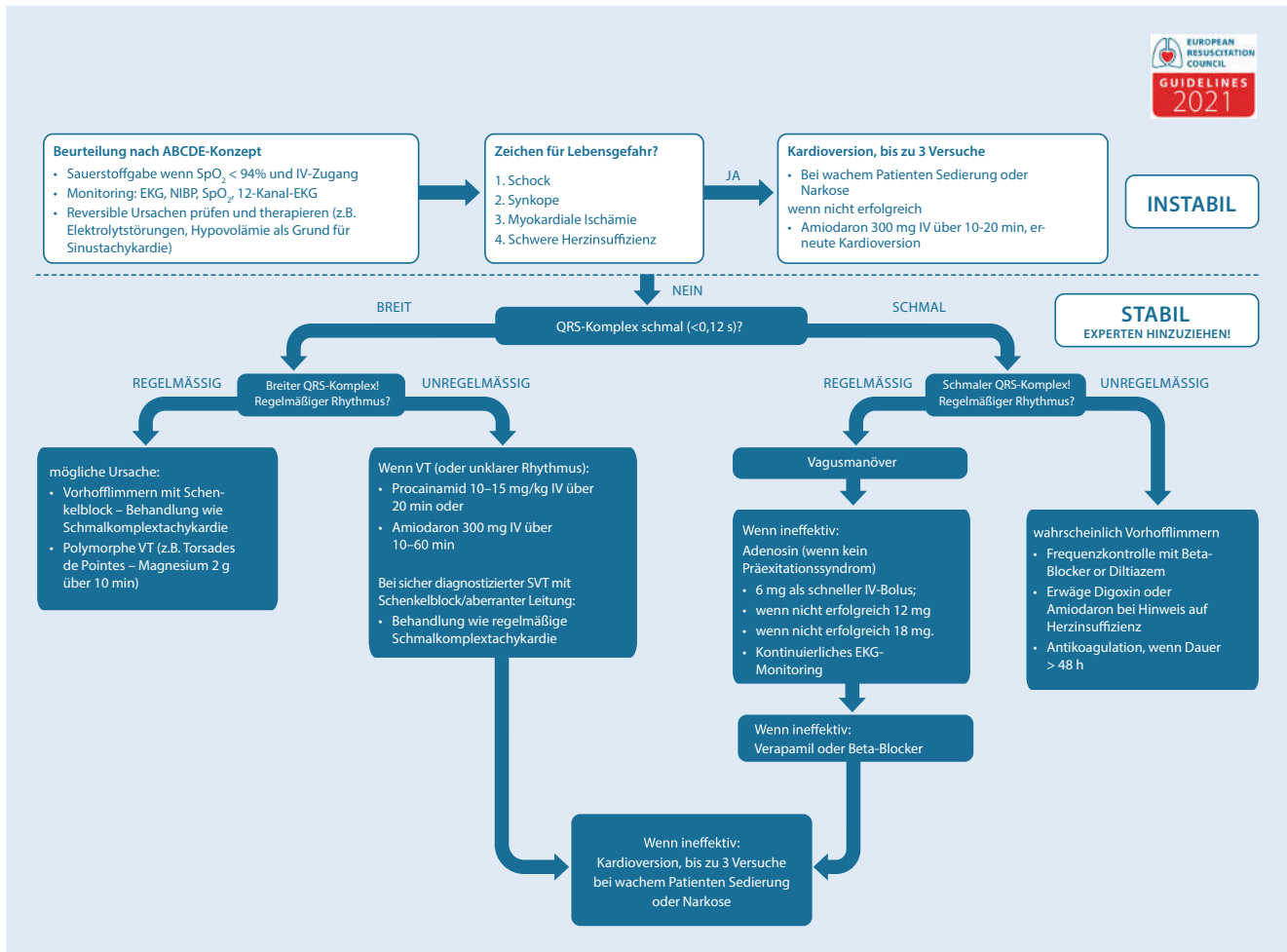


Abb. 5 ▲ Tachykardiealgorithmus. *ABCDE* bezeichnet Atemwege, Atmung, Kreislauf, Neurologie, Exposition/Umwelt, *BP* Blutdruck, Gleichstrom, *EKG* Elektrokardiogramm, *IV* intravenös, *S_pO₂* arterielle Sauerstoffsättigung, *VT* ventrikuläre Tachykardie

exponentielle Wellenformen (HdO) zeigen eine ähnlich hohe Wirksamkeit bei der elektiven Kardioversion von Vorhofflimmern [411]. Eine kürzlich durchgeführte RCT zeigte, dass die elektrische Kardioversion mit fester Energie (360 J BTE in dieser Studie) eine Minute nach der Kardioversion einen Sinusrhythmus wirksamer erreicht als eine energieeskalierende Strategie [412]. Es gab keine Zunahme unerwünschter Ereignisse. Ein initialer synchronisierter Schock bei maximaler Defibrillatorenergie anstelle eines eskalierenden Ansatzes ist basierend auf aktuellen Daten eine vernünftige Strategie. Befolgen Sie bei stabilen Patienten die entsprechenden Richtlinien zur Notwendigkeit einer Antikoagulation vor der Kardioversion, um das Schlaganfallrisiko zu minimieren [405].

Kardioversion bei Vorhofflattern und paroxysmaler supraventrikulärer Tachykardie. Vorhofflattern und paroxysmale supraventrikuläre Tachykardie (SVT) erfordern im Allgemeinen weniger Energie als Vorhofflimmern für die Kardioversion [413]. Geben Sie einen anfänglichen Schock von 70 bis 120 J. Verwenden Sie für die folgenden Schocks schrittweise erhöhte Energie [220].

Kardioversion bei ventrikulärer Tachykardie mit Puls. Die für die Kardioversion der VT erforderliche Energie hängt von den morphologischen Eigenschaften und dem Ausmaß der Arrhythmie ab [414]. Ventrikuläre Tachykardie mit Puls reagiert gut mit Energieniveaus von 120 bis 150 J für den anfänglichen Schock. Erwägen Sie eine schrittweise Erhöhung,

wenn der erste Schock keinen Sinusrhythmus etabliert [414].

Schrittmacherstimulation. Erwägen Sie eine Schrittmacherstimulation bei instabilen Patienten mit symptomatischer Bradykardie, die auf eine medikamentöse Therapie nicht ansprechen. Sofortiges Pacing ist indiziert, wenn der Herzblock auf Höhe oder unterhalb des His-Purkinje-Systems besteht. Wenn die transthorakale (transkutane) Stimulation unwirksam ist, sollen Sie eine transvenöse Stimulation in Betracht ziehen. Wird die Diagnose Asystolie gestellt, soll das EKG genau auf das Vorhandensein von P-Wellen überprüft werden, weil diese möglicherweise auf kardiales Pacing reagieren könnten. Die Verwendung epikardial implantierter Kabel, um das Myokard nach einem kardi chir-

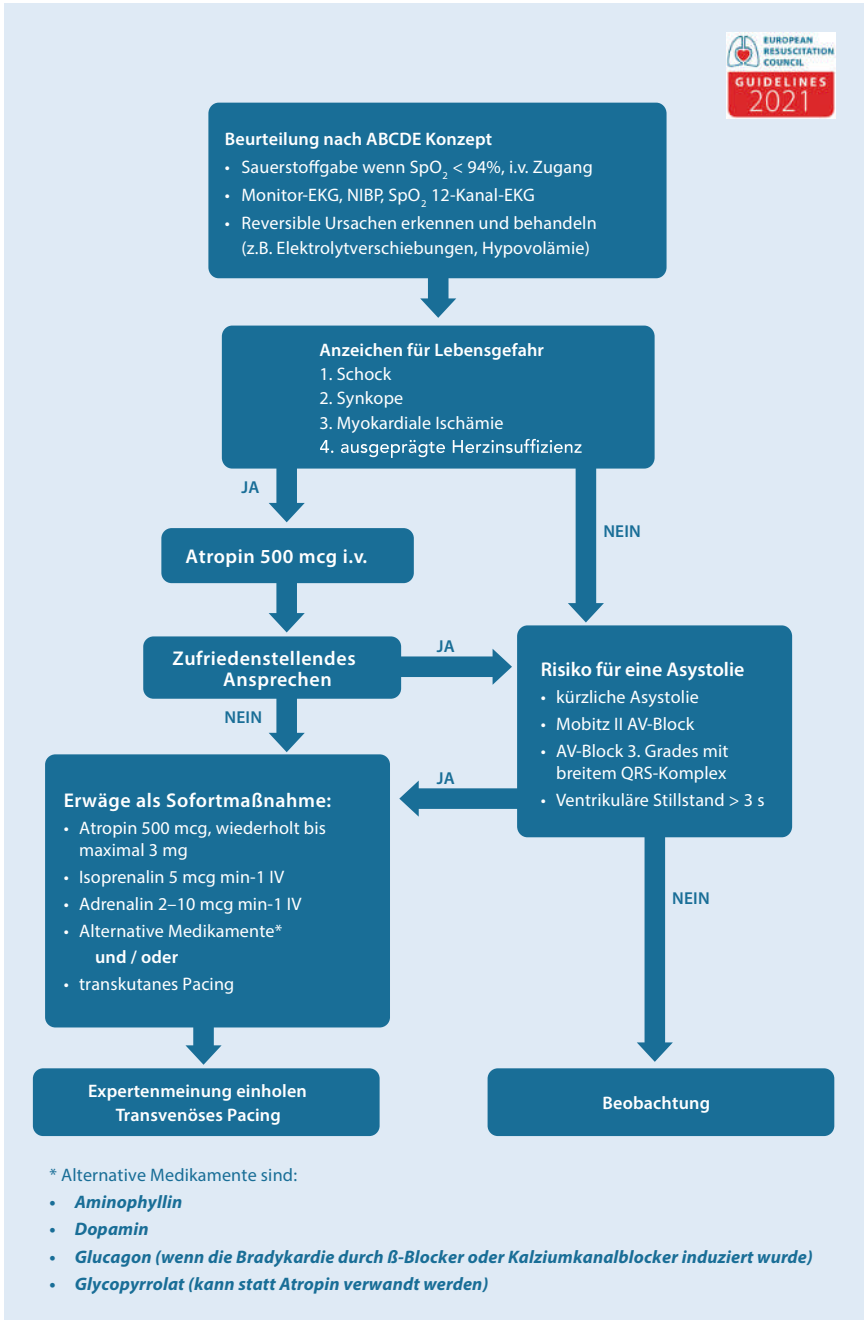


Abb. 6 ▲ Bradykardiealgorithmus. *ABCDE* bezeichnet Atemwege, Atmung, Kreislauf, Neurologie, Exposition/Umwelt, *BP* Blutdruck, *EKG* Elektrokardiogramm, *IV* intravenös, *SpO₂* arterielle Sauerstoffsättigung, *VT* ventrikuläre Tachykardie

urgischen Eingriff zu stimulieren, ist wirkungsvoll und wird anderenorts diskutiert. Besteht die Asystolie eindeutig ohne P-Wellen, soll der Pacing-Versuch unterlassen werden; weder das Kurz- noch das Langzeitüberleben inner- oder präklinisch wird hierdurch verbessert [415–423]. Bei hämodynamisch instabilen Patienten mit Bradykardien, die bei Bewusstsein sind, kann die Stimulation

mittels Faustschlägen auf das Sternum („percussion pacing“) als Überbrückung bis zur elektrischen Stimulation versucht werden, obwohl deren Wirkung nicht erwiesen ist [110, 424, 425]. Schlagen Sie mit der geschlossenen Faust über den linken unteren Rand des Brustbeins rhythmisch, um das Herz mit einer physiologischen Geschwindigkeit von 50 bis 70 min⁻¹ zu stimulieren. Transthoraka-

le und Perkussionsstimulation kann zu Beschwerden führen. Erwägen Sie bei nichtbewusstlosen Patienten Analgetika oder Sedativa.

Unkontrollierte Organspende nach Kreislauftod¹

- Nach einem Kreislaufstillstand erreichen weniger als die Hälfte der Patienten ROSC [20, 37]. Wenn mit Standard-ALS ein ROSC nicht erreicht wird, gibt es drei allgemeine Behandlungsstrategien [426]:
- Stoppen Sie die Wiederbelebung und erklären Sie den Tod.
 - Setzen Sie bei ausgewählten Patienten die CPR fort, um die Implementierung anderer Technologien wie der eCPR zu erleichtern, die Zeit für Behandlungen gewinnen, die eine reversible Ursache des Kreislaufstillstands behandeln (z. B. Erwärmung nach versehentlicher Unterkühlung, primäre perkutane Koronarintervention innerhalb des Arrests für akute Myokardischämie).
 - Setzen Sie die CPR fort, um die Organperfusion für eine etwaige Organspende aufrechtzuerhalten (uDCD), und transportieren Sie den Patienten für die weitere Abklärung in ein Krankenhaus.

Diese Richtlinie konzentriert sich auf uDCD (Maastricht-Spender der Kategorie I/II) [427]. Die Richtlinien für die Nachsorge nach Wiederbelebung [273] enthalten Leitlinien für Organspendewege nach Hirntod oder kontrollierter Spende nach Kreislauftod (Spender der Kategorie III in Maastricht) bei Patienten, die ROSC erreichen oder mit eCPR behandelt werden [272, 427]. Wir erkennen die ethischen, kulturellen und

¹ Die Rechtslage zur Organspende nach persistierendem Kreislaufstillstand (Donation after Circulatory Determination of Death, DCD) ist in den deutschsprachigen Ländern unterschiedlich: während in Deutschland für die Organspende grundsätzlich die Feststellung des Hirntodes erforderlich ist, ist in Österreich, der Schweiz und Luxemburg die Organspende bei erfolgloser Reanimation grundsätzlich möglich. Im Moment wird sie allerdings aus organisatorisch/logistischen Gründen nur an wenigen Orten durchgeführt.

rechtlichen Probleme an, die zu unterschiedlichen Anwendungen von uDCD führen.

In ganz Europa übersteigt die Nachfrage nach transplantierten Organen weiterhin das Angebot. Eine unkontrollierte Spende nach Kreislaufstillstand (uDCD) bietet Opfern von Kreislaufstillstand, bei denen ROSC nicht erreicht werden kann, die Möglichkeit, Organspender zu werden. In Europa wird uDCD derzeit in Regionen Spaniens, Frankreichs, der Niederlande, Belgiens und Italiens durchgeführt [428–437]. Organe, die weiterverwendet werden können, sind Nieren, Leber, Bauchspeicheldrüse und Lunge. Beobachtungsdaten zeigen, dass der langfristige Erfolg eines uDCD-Transplantats mit anderen Ansätzen zur Organwiederherstellung vergleichbar ist [435, 437–439].

Es besteht kein allgemeiner Konsens über die Auswahlkriterien für uDCD, und die Identifizierung eines potenziellen Spenders erfolgt derzeit nach regionalen/nationalen Protokollen. Dazu gehören im Allgemeinen: Alter über 18 Jahre (für Erwachsene) und unter 55 oder 65 Jahre, eine No-flow-Zeit (das Intervall zwischen Kreislaufstillstand und CPR-Beginn) von 15 bis 30 min und eine Gesamtzeit für warme Ischämie (das Intervall zwischen Kreislaufstillstand und Beginn der Organerhaltung) nicht länger als 150 min [440]. Ausschlusskriterien sind im Allgemeinen Trauma, Mord oder Selbstmord als Ursache für den Kreislaufstillstand sowie Komorbiditäten wie Krebs, Sepsis und entsprechend dem lokalem Programm und dem zu transplantierenden Zielorgan Nieren- und Lebererkrankung [440].

Eine unkontrollierte Spende nach dem Kreislaufstillstand ist ein zeitkritischer, ressourcenintensiver, komplexer und ethisch herausfordernder Prozess [441, 442]. Nach Abschluss umfassender Wiederbelebungsmaßnahmen und Bestätigung des Todes wird eine Zeitspanne ohne Berührung des Toten eingehalten, um die Möglichkeit einer automatischen Wiederbelebung auszuschließen [443]. Die Verfahren zur Organerhaltung werden dann sofort gestartet und fortgesetzt, während die Zustimmung der Familie zur Organtransplantation eingeholt

wird, und die Organe auf ihre Eignung für eine Spende geprüft [444–446]. Bei Bauchorganen wird bei der Organerhaltung normalerweise ein extrakorporaler Kreislauf mit Membranoxygenierung über einen femorofemorale Bypass verwendet [441]. Katheter mit Ballons werden verwendet, um die Durchblutung der Bauchhöhle zu begrenzen [447]. Nach Zustimmung und Abschluss praktischer Vorkehrungen wird der Patient zur Organtransplantation in den Operationssaal gebracht.

Die Zustimmung zur Organspende wird so bald wie möglich während des Prozesses von einem Ersatzentscheider (z. B. einem Familienmitglied) oder durch Abrufen der vorherigen Zustimmung, die auf einer Spenderkarte oder in einem öffentlichen Register registriert ist, falls verfügbar, eingeholt. Die Dringlichkeit und Art des Prozesses schafft verschiedene ethische Herausforderungen, die nur bei uDCD auftreten. Dies unterstreicht die Bedeutung klarer lokaler Protokolle sowie die gesetzgeberische und gesellschaftliche Akzeptanz des Prozesses [441]. Diese Probleme werden im Abschnitt Ethik der Leitlinien [448] behandelt [449].

Nachbesprechung

Das ILCOR publizierte eine systematische Übersichtsarbeit über die Nachbesprechung nach Kreislaufstillstand im Jahr 2020 [19]. Die Übersichtsarbeit umfasste vier Beobachtungsstudien und ergab, dass die Nachbesprechung mit Verbesserungen des Krankenhausüberlebens, des ROSC und der CPR-Qualität verbunden war [450–453]. In allen diesen Studien wurde die Verwendung einer Nachbesprechung beschrieben, die Daten zur CPR-Qualität enthielt, welche von Defibrillatoren heruntergeladen wurden [454]. Basierend auf diesen Daten gibt das ILCOR weiterhin eine schwache Empfehlung ab, die auf sehr geringer Evidenz beruht und die Verwendung datengesteuerter leistungsorientierter Nachbesprechungen unterstützt. In der Begründung und dem Beweis für den Entscheidungsrahmen wurde die erhebliche Heterogenität bei der Nachbesprechung zwischen den Studien festgestellt.

Das ILCOR stellte außerdem fest, dass die Intervention höchstwahrscheinlich für die Interessengruppen akzeptabel ist und die Kosten für die Umsetzung gering sein können. Ein potenzieller Schaden der Nachbesprechung ist die psychologische Auswirkung der Erörterung belastender klinischer Ereignisse auf die Retter. In der ILCOR-Zusammenfassung wurden keine Hinweise auf Schäden aus eingeschlossenen Studien aufgezeichnet, es wurde jedoch die Notwendigkeit hervorgehoben, diesen Effekt bei der Durchführung von Nachbesprechungsmaßnahmen zu berücksichtigen.

Korrespondenzadresse

Jasmeet Soar

Southmead Hospital, North Bristol NHS Trust
Bristol, Großbritannien
jochen.hinkelbein@uk-koeln.de

Korrespondierender Übersetzer

Prof. Dr. med. Jochen Hinkelbein, D.E.S.A., E.D.I.C.,
F.As.M.A.
Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin
Universitätsklinikum Köln (AöR)
Kerpener Straße 62
50937 Köln
jochen.hinkelbein@uk-koeln.de

Danksagung. Die Übersetzung dieses Kapitels wurde von Prof. Dr. med. Jochen Hinkelbein, Prof. Dr. Stefan Braunecker, Dr. med. Jan Schmitz und Felix Liebold geleistet.

Acknowledgments. The authors acknowledge the following individuals who contributed to the 2015 version of this guideline: Markus B. Skrifvars, Gary B. Smith, Kjetil Sunde, Rudolph W. Koster, Koenraad G. Monsieurs, Nikolaos I. Nikolaou. GDP is supported by the National Institute for Health Research (NIHR) Applied Research Collaboration (ARC) West Midlands. The views expressed are those of the author(s) and not necessarily those of the NIHR or the Department of Health and Social Care.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. J. Soar declares his role of Co-editor *Resuscitation*; he declares institutional research funding for the NAP7 project from the Royal College of Anaesthetists. G.D. Perkins reports funding from Elsevier for his role as an editor of the journal *Resuscitation*. He reports research funding from the National Institute for Health Research in relation to the PARAMEDIC2 trial and the RESPECT project. J.P. Nolan reports funding from Elsevier for his role as Editor in Chief of the journals *Resuscitation* and *Resuscitation Plus*. He reports research funding from the National Institute for Health Research in relation to the PARAMEDIC2 trial and the AIRWAYS2 trial. C.D. Deakin declares research grants

from RCUK and funding from the National Institute for Health Research in relation to the PARAMEDIC2 trial and the AIRWAYS2 trial. T. Olasveengen declares research grants from Swedish Heart and Lung Foundation, Laerdal Foundation and Lof-Swedish patient insurance and Swedish state under the agreement between the Swedish government and the county councils, the ALF-agreement. B.W. Böttiger declared speakers honorarium from Baxalta, ZOLL, FomF, Bard, Stemple, Novartis Pharma, Philips Market DACH, Bioscience Valuation BSV. T. Pellis declares Speakers honorarium from BARD. [Stand 26.5.2020, Originalartikel in *Resuscitation*] P. Carli, K. Couper, T. Djärv, C. Lott, P. Paal and C. Sandroni declare that they have no competing interests.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

- Olasveengen TM, Semeraro F, Ristagno G et al (2021) Basistaßnahmen zur Wiederbelebung Erwachsener („Basic Life Support“, „BSL“) Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00885-x>
- Soar J, Berg KM, Andersen LW et al (2020) Adult advanced life support: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A80–A119
- Nolan JP, Monsieus KG, Bossaert L et al (2020) European Resuscitation Council COVID-19 guidelines executive summary. *Resuscitation* 153:45–55
- Perkins GD, Morley PT, Nolan JP et al (2020) International Liaison Committee on Resuscitation: COVID-19 consensus on science, treatment recommendations and task force insights. *Resuscitation* 151:145–147
- Couper K, Taylor-Phillips S, Grove A et al (2020) COVID-19 in cardiac arrest and infection risk to rescuers: a systematic review. *Resuscitation* 151:59–66
- Perkins GD, Gräsner J-T, Semeraro F et al (2021) Kurzfassung. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00883-z>
- Mentzelopoulos SD, Couper K, Van de Voorde P et al (2021) Ethik der Reanimation und Entscheidungen am Lebensende. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00888-8>
- Andersen LW, Holmberg MJ, Berg KM, Donnino MW, Granfeldt A (2019) In-hospital cardiac arrest: a review. *JAMA* 321:1200–1210
- Hessulff, Karlsson T, Lundgren P et al (2018) Factors of importance to 30-day survival after in-hospital cardiac arrest in Sweden—a population-based register study of more than 18,000 cases. *Int J Cardiol* 255:237–242
- Aune S, Herlitz J, Bang A (2005) Characteristics of patients who die in hospital with no attempt at resuscitation. *Resuscitation* 65:291–299
- Skrifvars MB, Hilden HM, Finne P, Rosenberg PH, Castren M (2003) Prevalence of “do not attempt resuscitation” orders and living wills among patients suffering cardiac arrest in four secondary hospitals. *Resuscitation* 58:65–71
- Fritz ZB, Heywood RM, Moffat SC, Bradshaw LE, Fuld JP (2014) Characteristics and outcome of patients with DNACPR orders in an acute hospital: an observational study. *Resuscitation* 85:104–108
- Perkins GD, Griffiths F, Slowther AM et al (2016) Do-not-attempt-cardiopulmonary-resuscitation decisions: an evidence synthesis. *Health Serv Deliv Res.* <https://doi.org/10.3310/hsdr04110>
- Moskowitz A, Berg KM, Cocchi MN et al (2019) Cardiac arrest in the intensive care unit: an assessment of preventability. *Resuscitation* 145:15–20
- Roberts D, Djarv T (2017) Preceding national early warnings scores among in-hospital cardiac arrests and their impact on survival. *Am J Emerg Med* 35:1601–1606
- Smith GB (2010) In-hospital cardiac arrest: Is it time for an in-hospital “chain of prevention”? *Resuscitation* 81:1209–1211
- Royal College of Physicians (2017) National Early Warning Score (NEWS) 2: Standardising the assessment of acute-illness severity in the NHS. Updated report of a working party. RCP, London
- National Institute for Health and Clinical Excellence (2007) NICE clinical guideline 50. Acutely ill patients in hospital: recognition of and response to acute illness in adults in hospital. NICE, London
- Greif R (2020) Education, implementation, and teams 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A188–A239
- Nolan JP, Soar J, Smith GB et al (2014) Incidence and outcome of in-hospital cardiac arrest in the United Kingdom National Cardiac Arrest Audit. *Resuscitation* 85:987–992
- Smith GB, Redfern O, Maruotti A, Recio-Saucedo A, Griffiths P, Missed Care Study Group (2020) The association between nurse staffing levels and a failure to respond to patients with deranged physiology: a retrospective observational study in the UK. *Resuscitation* 149:202–208
- Griffiths P, Recio-Saucedo A, Dall’Ora C et al (2018) The association between nurse staffing and omissions in nursing care: a systematic review. *J Adv Nurs* 74:1474–1487
- Thoren A, Rawshani A, Herlitz J et al (2020) ECG-monitoring of in-hospital cardiac arrest and factors associated with survival. *Resuscitation* 150:130–138
- Soar J, Nolan JP, Böttiger BW et al (2015) European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2015: section 3. Adult advanced life support. *Resuscitation* 95:100–147
- Douw G, Schoonhoven L, Holwerda T et al (2015) Nurses’ worry or concern and early recognition of deteriorating patients on general wards in acute care hospitals: a systematic review. *Crit Care* 19:230
- Douw G, Huisman-de Waal G, van Zanten ARH, van der Hoeven JG, Schoonhoven L (2017) Capturing early signs of deterioration: the dutch-early-nurse-worry-indicator-score and its value in the Rapid Response System. *J Clin Nurs* 26:2605–2613
- Marshall S, Harrison J, Flanagan B (2009) The teaching of a structured tool improves the clarity and content of interprofessional clinical communication. *Qual Saf Health Care* 18:137–140
- Buljac-Samardzic M, Doekhie KD, van Wijngaarden JDH (2020) Interventions to improve team effectiveness within health care: a systematic review of the past decade. *Hum Resour Health* 18:2
- Muller M, Jurgens J, Redaelli M, Klingberg K, Hautz WE, Stock S (2018) Impact of the communication and patient hand-off tool SBAR on patient safety: a systematic review. *BMJ Open* 8:e22202
- Brady PW, Zix J, Brill R et al (2015) Developing and evaluating the success of a family activated medical emergency team: a quality improvement report. *BMJ Qual Saf* 24:203–211
- Albutt AK, O’Hara JK, Conner MT, Fletcher SJ, Lawton RJ (2017) Is there a role for patients and their relatives in escalating clinical deterioration in hospital? A systematic review. *Health Expect* 20:818–825
- McKinney A, Fitzsimons D, Blackwood B, McCaughey J (2019) Patient and family-initiated escalation of care: a qualitative systematic review protocol. *Syst Rev* 8:91
- Subbe CP, Bannard-Smith J, Bunch J et al (2019) Quality metrics for the evaluation of Rapid Response Systems: proceedings from the third international consensus conference on Rapid Response Systems. *Resuscitation* 141:1–12
- Winters BD, Weaver SJ, Pfoh ER, Yang T, Pham JC, Dy SM (2013) Rapid-response systems as a patient safety strategy: a systematic review. *Ann Intern Med* 158:417–425
- Virani SS, Alonso A, Benjamin EJ et al (2020) Heart disease and stroke statistics—2020 update: a report from the American Heart Association. *Circulation* 141:e139–e596
- Kiguchi T, Okubo M, Nishiyama C et al (2020) Out-of-hospital cardiac arrest across the World: first report from the International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR). *Resuscitation* 152:39–49
- Grasner JT, Wnent J, Herlitz J et al (2020) Survival after out-of-hospital cardiac arrest in Europe—results of the EuReCa TWO study. *Resuscitation* 148:218–226
- Gräsner JT, Herlitz J, Tjelmeland IBM et al (2021) European Resuscitation Council guidelines 2021: epidemiology of cardiac arrest in Europe. *Resuscitation* 161:61–79
- Basso C, Carturan E, Pilichou K, Rizzo S, Corrado D, Thiene G (2010) Sudden cardiac death with normal heart: molecular autopsy. *Cardiovasc Pathol* 19:321–325
- Goldberger JJ, Basu A, Boineau R et al (2014) Risk stratification for sudden cardiac death: a plan for the future. *Circulation* 129:516–526
- Harmon KG, Drezner JA, Wilson MG, Sharma S (2014) Incidence of sudden cardiac death in athletes: a state-of-the-art review. *Heart* 100:1227–1234
- Kramer MR, Drori Y, Lev B (1988) Sudden death in young soldiers. High incidence of syncope prior to death. *Chest* 93:345–347
- Mazzanti A, O’Rourke S, Ng K et al (2014) The usual suspects in sudden cardiac death of the young: a focus on inherited arrhythmogenic diseases. *Expert Rev Cardiovasc Ther* 12:499–519
- Quigley F, Greene M, O’Connor D, Kelly F (2005) A survey of the causes of sudden cardiac death in the under 35-year-age group. *Ir Med J* 98:232–235
- Winkel BG, Risgaard B, Sadjadih G, Bundgaard H, Haunso S, Tfelt-Hansen J (2014) Sudden cardiac death in children (1–18 years): symptoms and causes of death in a nationwide setting. *Eur Heart J* 35:868–875
- Wisten A, Forsberg H, Krantz P, Messner T (2002) Sudden cardiac death in 15–35-year-olds in Sweden during 1992–99. *J Intern Med* 252:529–536
- Wisten A, Messner T (2005) Symptoms preceding sudden cardiac death in the young are common but often misinterpreted. *Scand Cardiovasc J* 39:143–149
- Wisten A, Messner T (2005) Young Swedish patients with sudden cardiac death have a lifestyle very similar to a control population. *Scand Cardiovasc J* 39:137–142

49. Kandala J, Oommen C, Kern KB (2017) Sudden cardiac death. *Br Med Bull* 122:5–15
50. Winkel BG, Jabbari R, Tfelt-Hansen J (2017) How to prevent SCD in the young? *Int J Cardiol* 237:6–9
51. Wellens HJ, Schwartz PJ, Lindemans FW et al (2014) Risk stratification for sudden cardiac death: current status and challenges for the future. *Eur Heart J* 35:1642–1651
52. Buxton AE, Lee KL, DiCarlo L et al (2000) Electrophysiologic testing to identify patients with coronary artery disease who are at risk for sudden death. Multicenter Unsustained Tachycardia Trial Investigators. *N Engl J Med* 342:1937–1945
53. Buxton AE (2017) Sudden death in ischemic heart disease—2017. *Int J Cardiol* 237:64–66
54. Levine YC, Rosenberg MA, Mittelman M et al (2014) B-type natriuretic peptide is a major predictor of ventricular tachyarrhythmias. *Heart Rhythm* 11:1109–1116
55. Levine YC, Matos J, Rosenberg MA, Manning WJ, Josephson ME, Buxton AE (2016) Left ventricular sphericity independently predicts appropriate implantable cardioverter-defibrillator therapy. *Heart Rhythm* 13:490–497
56. Brignole M, Moya A, de Lange FJ et al (2018) 2018 ESC guidelines for the diagnosis and management of syncope. *Eur Heart J* 39:1883–1948
57. Stecker EC, Reinier K, Marijon E et al (2014) Public health burden of sudden cardiac death in the United States. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 7:212–217
58. Jayaraman R, Reinier K, Nair S et al (2018) Risk factors of sudden cardiac death in the young: multiple-year community-wide assessment. *Circulation* 137:1561–1570
59. Bjune T, Risgaard B, Kruckow L et al (2018) Post-mortem toxicology in young sudden cardiac death victims: a nationwide cohort study. *Europace* 20:614–621
60. Behr ER, Dalageorgou C, Christiansen M et al (2008) Sudden arrhythmic death syndrome: familial evaluation identifies inheritable heart disease in the majority of families. *Eur Heart J* 29:1670–1680
61. Giudicessi JR, Ackerman MJ (2018) Role of genetic heart disease in sentinel sudden cardiac arrest survivors across the age spectrum. *Int J Cardiol* 270:214–220
62. Gräsner J-T, Herlitz J, Tjelmeland IBM et al (2021) Epidemiologie des Kreislaufstillstandes in Europa. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. *Notfall Rettungsmed*. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00884-y>
63. Maron BJ (2018) Clinical course and management of hypertrophic cardiomyopathy. *N Engl J Med* 379:655–668
64. Stecker EC, Vickers C, Waltz J et al (2006) Population-based analysis of sudden cardiac death with and without left ventricular systolic dysfunction: two-year findings from the Oregon Sudden Unexpected Death Study. *J Am Coll Cardiol* 47:1161–1166
65. Marijon E, Uy-Evanado A, Dumas F et al (2016) Warning symptoms are associated with survival from sudden cardiac arrest. *Ann Intern Med* 164:23–29
66. Müller D, Agrawal R, Arntz HR (2006) How sudden is sudden cardiac death? *Circulation* 114:1146–1150
67. Nishiyama C, Iwami T, Kawamura T et al (2013) Prodromal symptoms of out-of-hospital cardiac arrests: a report from a large-scale population-based cohort study. *Resuscitation* 84:558–563
68. Deakin CD, Quartermain A, Ellery J (2020) Do patients suffering an out-of-hospital cardiac arrest present to the ambulance service with symptoms in the preceding 48 h? *Eur Heart J Qual Care Clin Outcomes* 6:308–314
69. Priori SG, Blomström-Lundqvist C (2015) 2015 European Society of Cardiology guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death summarized by co-chairs. *Eur Heart J* 36:2757–2759
70. Elliott PM, Anastasakis A, Borger MA et al (2014) 2014 ESC guidelines on diagnosis and management of hypertrophic cardiomyopathy: the Task Force for the Diagnosis and Management of Hypertrophic Cardiomyopathy of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 35:2733–2779
71. Brugada J, Brugada R, Brugada P (2003) Determinants of sudden cardiac death in individuals with the electrocardiographic pattern of Brugada syndrome and no previous cardiac arrest. *Circulation* 108:3092–3096
72. Jons C, Moss AJ, Goldenberg I et al (2010) Risk of fatal arrhythmic events in long QT syndrome patients after syncope. *J Am Coll Cardiol* 55:783–788
73. Krahn AD, Healey JS, Simpson CS et al (2012) Sentinel symptoms in patients with unexplained cardiac arrest: from the cardiac arrest survivors with preserved ejection fraction registry (CASPER). *J Cardiovasc Electrophysiol* 23:60–66
74. Marcus FI, McKenna WJ, Sherrill D et al (2010) Diagnosis of arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy/dysplasia: proposed modification of the task force criteria. *Eur Heart J* 31:806–814
75. Marjamaa A, Hiippala A, Arrhenius B et al (2012) Intravenous epinephrine infusion test in diagnosis of catecholaminergic polymorphic ventricular tachycardia. *J Cardiovasc Electrophysiol* 23:194–199
76. Nava A, Bauce B, Basso C et al (2000) Clinical profile and long-term follow-up of 37 families with arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 36:2226–2233
77. Priori SG, Napolitano C, Gasparini M et al (2002) Natural history of Brugada syndrome: insights for risk stratification and management. *Circulation* 105:1342–1347
78. Schinkel AF (2013) Implantable cardioverter defibrillators in arrhythmogenic right ventricular dysplasia/cardiomyopathy: patient outcomes, incidence of appropriate and inappropriate interventions, and complications. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 6:562–568
79. Schwartz PJ, Spazzolini C, Priori SG et al (2010) Who are the long-QT syndrome patients who receive an implantable cardioverter-defibrillator and what happens to them? Data from the European Long-QT Syndrome Implantable Cardioverter-Defibrillator (LQTS ICD) Registry. *Circulation* 122:1272–1282
80. Spirito P, Autore C, Rapezzi C et al (2009) Syncope and risk of sudden death in hypertrophic cardiomyopathy. *Circulation* 119:1703–1710
81. Quinn J, McDermott D, Stiell I, Kohn M, Wells G (2006) Prospective validation of the San Francisco Syncope Rule to predict patients with serious outcomes. *Ann Emerg Med* 47:448–454
82. Reed MJ, Newby DE, Coull AJ, Prescott RJ, Jacques KG, Gray AJ (2010) The ROSE (risk stratification of syncope in the emergency department) study. *J Am Coll Cardiol* 55:713–721
83. Quinn JV, Stiell IG, McDermott DA, Sellers KL, Kohn MA, Wells GA (2004) Derivation of the San Francisco Syncope Rule to predict patients with short-term serious outcomes. *Ann Emerg Med* 43:224–232
84. Del Rosso A, Ungar A, Maggì R et al (2008) Clinical predictors of cardiac syncope at initial evaluation in patients referred urgently to a general hospital: the EGSYS score. *Heart* 94:1620–1626
85. Alboni P, Brignole M, Menozzi C et al (2001) Diagnostic value of history in patients with syncope with or without heart disease. *J Am Coll Cardiol* 37:1921–1928
86. Calkins H, Shyr Y, Frumin H, Schork A, Morady F (1995) The value of the clinical history in the differentiation of syncope due to ventricular tachycardia, atrioventricular block, and neurocardiogenic syncope. *Am J Med* 98:365–373
87. Costantino G, Perego F, Dipaola F et al (2008) Short- and long-term prognosis of syncope, risk factors, and role of hospital admission: results from the STePS (Short-Term Prognosis of Syncope) study. *J Am Coll Cardiol* 51:276–283
88. Colman N, Bakker A, Linzer M, Reitsma JB, Wieling W, Wilde AA (2009) Value of history-taking in syncope patients: in whom to suspect long QT syndrome? *Europace* 11:937–943
89. Jamjoom AA, Nikkar-Esfahani A, Fitzgerald JE (2009) Operating theatre related syncope in medical students: a cross sectional study. *BMC Med Educ* 9:14
90. Priori SG, Blomström-Lundqvist C, Mazzanti A et al (2015) 2015 ESC guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death: The Task Force for the Management of Patients with Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC). *Eur Heart J* 36:2793–2867
91. Sheldon R, Rose S, Connolly S, Ritchie D, Koshman ML, Frenneaux M (2006) Diagnostic criteria for vasovagal syncope based on a quantitative history. *Eur Heart J* 27:344–350
92. Mahmood S, Lim L, Akram Y, Alford-Morales S, Sherin K, Committee APP (2013) Screening for sudden cardiac death before participation in high school and collegiate sports: American College of Preventive Medicine position statement on preventive practice. *Am J Prev Med* 45:130–133
93. Hainline B, Drezner J, Baggish A et al (2017) Interassociation consensus statement on cardiovascular care of college student-athletes. *Br J Sports Med* 51:74–85
94. Malhotra A, Dhutia H, Finocchiaro G et al (2018) Outcomes of cardiac screening in adolescent soccer players. *N Engl J Med* 379:524–534
95. Brugada J, Krittis DG, Arbelo E et al (2019) ESC guidelines for the management of patients with supraventricular tachycardia: the task force for the management of patients with supraventricular tachycardia of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 2020(41):655–720
96. Perez MV, Mahaffey KW, Hedlin H et al (2019) Large-scale assessment of a smartwatch to identify atrial fibrillation. *N Engl J Med* 381:1909–1917
97. Guo Y, Wang H, Zhang H et al (2019) Mobile photoplethysmographic technology to detect atrial fibrillation. *J Am Coll Cardiol* 74:2365–2375
98. European Resuscitation Council (2019) ERC quality standards for cardiopulmonary resuscitation practice and training. https://www.erc.edu/sites/5714e77d5e615861f007d18/assets/5dedf6664c84860818e4d3c0/CPR_quality_standards_in_hosp_accute_ERC_V3_Final_1_.pdf. Zugegriffen: 5. Okt. 2020

99. Chan PS, Krumholz HM, Nichol G, Nallamothu BK (2008) Delayed time to defibrillation after in-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 358:9–17
100. Larsen MP, Eisenberg MS, Cummins RO, Hallstrom AP (1993) Predicting survival from out-of-hospital cardiac arrest: a graphic model. *Ann Emerg Med* 22:1652–1658
101. Whitaker DK, Nolan JP, Castrén M, Abela C, Goldik Z (2017) Implementing a standard internal telephone number 2222 for cardiac arrest calls in all hospitals in Europe. *Resuscitation* 115:A14–A15
102. Featherstone P, Chalmers T, Smith GB (2008) RSVP: a system for communication of deterioration in hospital patients. *Br J Nurs* 17:860–864
103. De Meester K, Verspuyn M, Monsieurs KG, Van Bogaert P (2013) SBAR improves nurse-physician communication and reduces unexpected death: a pre and post intervention study. *Resuscitation* 84:1192–1196
104. Ornato JP, Peberdy MA, Reid RD, Feeser VR, Dhindsa HS (2012) Impact of resuscitation system errors on survival from in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 83:63–69
105. Weng TI, Huang CH, Ma MH et al (2004) Improving the rate of return of spontaneous circulation for out-of-hospital cardiac arrests with a formal, structured emergency resuscitation team. *Resuscitation* 60:137–142
106. Panesar SS, Ignatowicz AM, Donaldson LJ (2014) Errors in the management of cardiac arrests: an observational study of patient safety incidents in England. *Resuscitation* 85:1759–1763
107. Bray J, Nehme Z, Nguyen A et al (2020) A systematic review of the impact of emergency medical service practitioner experience and exposure to out of hospital cardiac arrest on patient outcomes. *Resuscitation* 155:134–142
108. Yeung J, Matsuyama T, Bray J, Reynolds J, Skrifvars MB (2019) Does care at a cardiac arrest centre improve outcome after out-of-hospital cardiac arrest?—A systematic review. *Resuscitation* 137:102–115
109. Smyth M, Perkins G, Coppola A et al (2020) On behalf of the International Liaison Committee on Resuscitation Education, Implementation and Teams Task Force. Prehospital termination of resuscitation (TOR) rules Draft Consensus on Science with Treatment Recommendations. International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) Education, Implementation and Teams Task Force, 2020, January 6. <http://ilcor.org>
110. Olasveengen TM, Mancini ME, Perkins GD et al (2020) Adult basic life support: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Circulation* 142:S41–S91
111. Nichol G, Sayre MR, Guerra F, Poole J (2017) Defibrillation for ventricular fibrillation: a shocking update. *J Am Coll Cardiol* 70:1496–1509
112. Dyson K, Bray JE, Smith K, Bernard S, Straney L, Finn J (2016) Paramedic exposure to out-of-hospital cardiac arrest resuscitation is associated with patient survival. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 9:154–160
113. Tuttle JE, Hubble MW (2018) Paramedic out-of-hospital cardiac arrest case volume is a predictor of return of spontaneous circulation. *West J Emerg Med* 19:654–659
114. Appelboam A, Reuben A, Mann C et al (2015) Postural modification to the standard Valsalva manoeuvre for emergency treatment of supraventricular tachycardias (REVERT): a randomised controlled trial. *Lancet* 386:1747–1753
115. Smith GD, Fry MM, Taylor D, Morgans A, Cantwell K (2015) Effectiveness of the Valsalva manoeuvre for reversion of supraventricular tachycardia. *Cochrane Database Syst Rev* 2:CD9502
116. Smith G, Morgans A, Boyle M (2009) Use of the Valsalva manoeuvre in the prehospital setting: a review of the literature. *Emerg Med Clin North Am* 26:8–10
117. Lim SH, Anantharaman V, Teo WS, Goh PP, Tan AT (1998) Comparison of treatment of supraventricular tachycardia by Valsalva maneuver and carotid sinus massage. *Ann Emerg Med* 31:30–35
118. Brady WJ Jr, DeBehnke DJ, Wickman LL, Lindbeck G (1996) Treatment of out-of-hospital supraventricular tachycardia: adenosine vs verapamil. *Acad Emerg Med* 3:574–585
119. Glatter KA, Cheng J, Dorostkar P et al (1999) Electrophysiologic effects of adenosine in patients with supraventricular tachycardia. *Circulation* 99(8):1034–1040
120. Delaney B, Loy J, Kelly AM (2011) The relative efficacy of adenosine versus verapamil for the treatment of stable paroxysmal supraventricular tachycardia in adults: a meta-analysis. *Eur J Emerg Med* 18:148–152
121. Van Gelder IC, Rienstra M, Crijns HJ, Olshansky B (2016) Rate control in atrial fibrillation. *Lancet* 388:818–828
122. Dougherty AH, Jackman WM, Naccarelli GV, Friday KJ, Dias VC (1992) Acute conversion of paroxysmal supraventricular tachycardia with intravenous diltiazem: IV diltiazem study group. *Am J Cardiol* 70:587–592
123. Hood MA, Smith WM (1992) Adenosine versus verapamil in the treatment of supraventricular tachycardia: a randomized double-crossover trial. *Am Heart J* 123:1543–1549
124. Gupta A, Naik A, Vora A, Lokhandwala Y (1999) Comparison of efficacy of intravenous diltiazem and esmolol in terminating supraventricular tachycardia. *J Assoc Physicians India* 47:969–972
125. Lim SH, Anantharaman V, Teo WS, Chan YH (2009) Slow infusion of calcium channel blockers compared with intravenous adenosine in the emergency treatment of supraventricular tachycardia. *Resuscitation* 80:523–528
126. Das G, Tschida V, Gray R et al (1988) Efficacy of esmolol in the treatment and transfer of patients with supraventricular tachyarrhythmias to alternate oral antiarrhythmic agents. *J Clin Pharmacol* 28:746–750
127. Amsterdam EA, Kulcyski J, Ridgeway MG (1991) Efficacy of cardioselective beta-adrenergic blockade with intravenously administered metoprolol in the treatment of supraventricular tachyarrhythmias. *J Clin Pharmacol* 31:714–718
128. Brubaker S, Long B, Koyfman A (2018) Alternative treatment options for atrioventricular-nodal-reentry tachycardia: an emergency medicine review. *J Emerg Med* 54:198–206
129. Ortiz M, Martin A, Arribas F et al (2017) Randomized comparison of intravenous procainamide vs. intravenous amiodarone for the acute treatment of tolerated wide QRS tachycardia: the PROCAMIO study. *Eur Heart J* 38:1329–1335
130. Gorgels AP, van den Dool A, Hofs A et al (1996) Comparison of procainamide and lidocaine in terminating sustained monomorphic ventricular tachycardia. *Am J Cardiol* 78:43–46
131. Scheinman MM, Levine JH, Cannom DS et al (1995) Dose-ranging study of intravenous amiodarone in patients with life-threatening ventricular tachyarrhythmias. The Intravenous Amiodarone Multicenter Investigators Group. *Circulation* 92:3264–3272
132. Levine JH, Massumi A, Scheinman MM et al (1996) Intravenous amiodarone for recurrent sustained hypotensive ventricular tachyarrhythmias. Intravenous Amiodarone Multicenter Trial Group. *J Am Coll Cardiol* 27:67–75
133. Scottish Intercollegiate Guidelines Network (2018) Cardiac arrhythmias in coronary heart disease. A national clinical guideline. Network SIG, Edinburgh
134. Tzivoni D, Banai S, Schuger C et al (1988) Treatment of torsade de pointes with magnesium sulfate. *Circulation* 77:392–397
135. Edelson DP, Abella BS, Kramer-Johansen J et al (2006) Effects of compression depth and pre-shock pauses predict defibrillation failure during cardiac arrest. *Resuscitation* 71:137–145
136. Eftestol T, Sunde K, Steen PA (2002) Effects of interrupting precordial compressions on the calculated probability of defibrillation success during out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 105:2270–2273
137. Cheskes S, Schmicker RH, Christenson J et al (2011) Perishock pause: an independent predictor of survival from out-of-hospital shockable cardiac arrest. *Circulation* 124:58–66
138. Cheskes S, Schmicker RH, Verbeek PR et al (2014) The impact of peri-shock pause on survival from out-of-hospital shockable cardiac arrest during the Resuscitation Outcomes Consortium PRIMED Trial. *Resuscitation* 85:336–342
139. Gundersen K, Kvaloy JT, Kramer-Johansen J, Steen PA, Eftestol T (2009) Development of the probability of return of spontaneous circulation in intervals without chest compressions during out-of-hospital cardiac arrest: an observational study. *BMC Med* 7:6
140. Sell RE, Sarno R, Lawrence B et al (2010) Minimizing pre- and post-defibrillation pauses increases the likelihood of return of spontaneous circulation (ROSC). *Resuscitation* 81:822–825
141. Edelson DP, Robertson-Dick BJ, Yuen TC et al (2010) Safety and efficacy of defibrillator charging during ongoing chest compressions: a multi-center study. *Resuscitation* 81:1521–1526
142. Perkins GD, Davies RP, Soar J, Thickett DR (2007) The impact of manual defibrillation technique on no-flow time during simulated cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 73:109–114
143. Otto Q, Musiol S, Deakin CD, Morley P, Soar J (2020) Anticipatory manual defibrillator charging during advanced life support: a scoping review. *Resusc Plus* 1–2:100004
144. Miller PH (1972) Potential fire hazard in defibrillation. *JAMA* 221:192
145. Hummel RS 3rd, Ornato JP, Weinberg SM, Clarke AM (1988) Spark-generating properties of electrode gels used during defibrillation. A potential fire hazard. *JAMA* 260:3021–3024
146. ECRI (1987) Defibrillation in oxygen-enriched environments. *Health Devices* 16:113–114
147. Lefever J, Smith A (1995) Risk of fire when using defibrillation in an oxygen enriched atmosphere. *Med Devices Agency Saf Not* 3:1–3
148. Ward ME (1996) Risk of fires when using defibrillators in an oxygen enriched atmosphere. *Resuscitation* 31:173
149. Theodorou AA, Gutierrez JA, Berg RA (2003) Fire attributable to a defibrillation attempt in a neonate. *Pediatrics* 112:677–679
150. Pagan-Carlo LA, Spencer KT, Robertson CE, Dengler A, Birkett C, Kerber RE (1996) Transthoracic defibrillation: importance of avoiding electrode

- placement directly on the female breast. *J Am Coll Cardiol* 27:449–452
151. Foster AG, Deakin CD (2019) Accuracy of instructional diagrams for automated external defibrillator pad positioning. *Resuscitation* 139:282–288
 152. Deakin CD, Sado DM, Petley GW, Clewlow F (2003) Is the orientation of the apical defibrillation paddle of importance during manual external defibrillation? *Resuscitation* 56:15–18
 153. Kirchhof P, Eckardt L, Loh P et al (2002) Anterior-posterior versus anterior-lateral electrode positions for external cardioversion of atrial fibrillation: a randomised trial. *Lancet* 360:1275–1279
 154. Botto GL, Politi A, Bonini W, Brofoni T, Bonatti R (1999) External cardioversion of atrial fibrillation: role of paddle position on technical efficacy and energy requirements. *Heart* 82:726–730
 155. Alp NJ, Rahman S, Bell JA, Shahi M (2000) Randomised comparison of antero-lateral versus antero-posterior paddle positions for DC cardioversion of persistent atrial fibrillation. *Int J Cardiol* 75:211–216
 156. Mathew TP, Moore A, McIntyre M et al (1999) Randomised comparison of electrode positions for cardioversion of atrial fibrillation. *Heart* 81:576–579
 157. Kirkland S, Stiell I, AlShawabkeh T, Campbell S, Dickinson G, Rowe BH (2014) The efficacy of pad placement for electrical cardioversion of atrial fibrillation/flutter: a systematic review. *Acad Emerg Med* 21:717–726
 158. Zhang B, Li X, Shen D, Zhen Y, Tao A, Zhang G (2014) Anterior-posterior versus anterior-lateral electrode position for external electrical cardioversion of atrial fibrillation: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Arch Cardiovasc Dis* 107:280–290
 159. Walsh SJ, McCarty D, McClelland AJ et al (2005) Impedance compensated biphasic waveforms for transthoracic cardioversion of atrial fibrillation: a multi-centre comparison of antero-apical and antero-posterior pad positions. *Eur Heart J* 26:1298–1302
 160. Manegold JC, Israel CW, Ehrlich JR et al (2007) External cardioversion of atrial fibrillation in patients with implanted pacemaker or cardioverter-defibrillator systems: a randomized comparison of monophasic and biphasic shock energy application. *Eur Heart J* 28:1731–1738
 161. Alferness CA (1982) Pacemaker damage due to external countershock in patients with implanted cardiac pacemakers. *Pacing Clin Electrophysiol* 5:457–458
 162. Pitcher D, Soar J, Hogg K et al (2016) Cardiovascular implanted electronic devices in people towards the end of life, during cardiopulmonary resuscitation and after death: guidance from the Resuscitation Council (UK), British Cardiovascular Society and National Council for Palliative Care. *Heart* 102(Suppl 7):A1–A17
 163. Olsen JA, Brunborg C, Steinberg M et al (2015) Pre-shock chest compression pause effects on termination of ventricular fibrillation/tachycardia and return of organized rhythm within mechanical and manual cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 93:158–163
 164. Deakin CD, Lee-Shrewsbury V, Hogg K, Petley GW (2013) Do clinical examination gloves provide adequate electrical insulation for safe hands-on defibrillation? I: Resistive properties of nitrile gloves. *Resuscitation* 84:895–899
 165. Deakin CD, McLaren RM, Petley GW, Clewlow F, Dalrymple-Hay MJ (1998) Effects of positive end-expiratory pressure on transthoracic impedance—implications for defibrillation. *Resuscitation* 37:9–12
 166. Jacobs I, Sunde K, Deakin CD et al (2010) Part 6: Defibrillation: 2010 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Circulation* 122:S325–S337
 167. Sunde K, Jacobs I, Deakin CD et al (2010) Part 6: Defibrillation: 2010 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 81(Suppl 1):e71–e85
 168. Jost D, Degrange H, Verret C et al (2010) DEF1 2005: a randomized controlled trial of the effect of automated external defibrillator cardiopulmonary resuscitation protocol on outcome from out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 121:1614–1622
 169. Berdowski J, Schulten RJ, Tijssen JG, van Alem AP, Koster RW (2010) Delaying a shock after takeover from the automated external defibrillator by paramedics is associated with decreased survival. *Resuscitation* 81:287–292
 170. Sunde K, Eftestol T, Askenberg C, Steen PA (1999) Quality assessment of defibrillation and advanced life support using data from the medical control module of the defibrillator. *Resuscitation* 41:237–247
 171. Rea TD, Shah S, Kudenchuk PJ, Copass MK, Cobb LA (2005) Automated external defibrillators: to what extent does the algorithm delay CPR? *Ann Emerg Med* 46:132–141
 172. Pierce AE, Roppolo LP, Owens PC, Pepe PE, Idris AH (2015) The need to resume chest compressions immediately after defibrillation attempts: an analysis of post-shock rhythms and duration of pulselessness following out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 89:162–168
 173. Link MS, Berkow LC, Kudenchuk PJ et al (2015) Part 7: adult advanced cardiovascular life support: 2015 American Heart Association guidelines update for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation* 132:S444–S464
 174. Eftestol T, Wik L, Sunde K, Steen PA (2004) Effects of cardiopulmonary resuscitation on predictors of ventricular fibrillation defibrillation success during out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 110:10–15
 175. Eftestol T, Sunde K, Aase SO, Husoy JH, Steen PA (2000) Predicting outcome of defibrillation by spectral characterization and nonparametric classification of ventricular fibrillation in patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 102:1523–1529
 176. Callaway CW, Sherman LD, Mosesso VN Jr, Dietrich TJ, Holt E, Clarkson MC (2001) Scaling exponent predicts defibrillation success for out-of-hospital ventricular fibrillation cardiac arrest. *Circulation* 103:1656–1661
 177. Weaver WD, Cobb LA, Dennis D, Ray R, Hallstrom AP, Copass MK (1985) Amplitude of ventricular fibrillation waveform and outcome after cardiac arrest. *Ann Intern Med* 102:53–55
 178. Brown CG, Dzwonczyk R (1996) Signal analysis of the human electrocardiogram during ventricular fibrillation: frequency and amplitude parameters as predictors of successful countershock. *Ann Emerg Med* 27:184–188
 179. Callahan M, Braun O, Valentine W, Clark DM, Zegans C (1993) Prehospital cardiac arrest treated by urban first-responders: profile of patient response and prediction of outcome by ventricular fibrillation waveform. *Ann Emerg Med* 22:1664–1677
 180. Strohmeier HU, Lindner KH, Brown CG (1997) Analysis of the ventricular fibrillation ECG signal amplitude and frequency parameters as predictors of countershock success in humans. *Chest* 111:584–589
 181. Strohmeier HU, Eftestol T, Sunde K et al (2001) The predictive value of ventricular fibrillation electrocardiogram signal frequency and amplitude variables in patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Anesth Analg* 93:1428–1433
 182. Podbregar M, Kovacic M, Podbregar-Mars A, Brezocnik M (2003) Predicting defibrillation success by “genetic” programming in patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 57:153–159
 183. Menegazzi JJ, Callaway CW, Sherman LD et al (2004) Ventricular fibrillation scaling exponent can guide timing of defibrillation and other therapies. *Circulation* 109:926–931
 184. Povoas HP, Weil MH, Tang W, Bisera J, Klouche K, Barbatsis A (2002) Predicting the success of defibrillation by electrocardiographic analysis. *Resuscitation* 53:77–82
 185. Noc M, Weil MH, Tang W, Sun S, Perna A, Bisera J (1999) Electrocardiographic prediction of the success of cardiac resuscitation. *Crit Care Med* 27:708–714
 186. Strohmeier HU, Lindner KH, Keller A, Lindner IM, Pfenninger EG (1996) Spectral analysis of ventricular fibrillation and closed-chest cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 33:155–161
 187. Noc M, Weil MH, Gazmuri RJ, Sun S, Biscera J, Tang W (1994) Ventricular fibrillation voltage as a monitor of the effectiveness of cardiopulmonary resuscitation. *J Lab Clin Med* 124:421–426
 188. Lightfoot CB, Nremt P, Callaway CW et al (2003) Dynamic nature of electrocardiographic waveform predicts rescue shock outcome in porcine ventricular fibrillation. *Ann Emerg Med* 42:230–241
 189. Marn-Perna A, Weil MH, Tang W, Perna A, Bisera J (2001) Optimizing timing of ventricular defibrillation. *Crit Care Med* 29:2360–2365
 190. Hamprecht FA, Achleitner U, Krismer AC et al (2001) Fibrillation power, an alternative method of ECG spectral analysis for prediction of countershock success in a porcine model of ventricular fibrillation. *Resuscitation* 50:287–296
 191. Amann A, Achleitner U, Antretter H et al (2001) Analysing ventricular fibrillation ECG signals and predicting defibrillation success during cardiopulmonary resuscitation employing N(alpha)-histograms. *Resuscitation* 50:77–85
 192. Brown CG, Griffith RF, Van Ligten P et al (1991) Median frequency—a new parameter for predicting defibrillation success rate. *Ann Emerg Med* 20:787–789
 193. Amann A, Rheinberger K, Achleitner U et al (2002) The prediction of defibrillation outcome using a new combination of mean frequency and amplitude in porcine models of cardiac arrest. *Anesth Analg* 95:716–722
 194. Firoozabadi R, Nakagawa M, Helfenbein ED, Babaeizadeh S (2013) Predicting defibrillation success in sudden cardiac arrest patients. *J Electrocardiol* 46:473–479
 195. Ristagno G, Li Y, Fumagalli F, Finzi A, Quan W (2013) Amplitude spectrum area to guide resuscitation—a retrospective analysis during out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation in 609 patients with ventricular fibrillation cardiac arrest. *Resuscitation* 84:1697–1703
 196. Ristagno G, Mauri T, Cesana G et al (2015) Amplitude spectrum area to guide defibrillation:

- a validation on 1617 patients with ventricular fibrillation. *Circulation* 131:478–487
197. Freese JP, Jorgenson DB, Liu PY et al (2013) Waveform analysis-guided treatment versus a standard shock-first protocol for the treatment of out-of-hospital cardiac arrest presenting in ventricular fibrillation: results of an international randomized, controlled trial. *Circulation* 128:995–1002
 198. Coult J, Blackwood J, Sherman L, Rea TD, Kudenchuk PJ, Kwok H (2019) Ventricular fibrillation waveform analysis during chest compressions to predict survival from cardiac arrest. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 12:e6924
 199. Aiello S, Perez M, Cogan C et al (2017) Real-time ventricular fibrillation amplitude-spectral area analysis to guide timing of shock delivery improves defibrillation efficacy during cardiopulmonary resuscitation in swine. *J Am Heart Assoc* 6(11):e6749
 200. Nakagawa Y, Amino M, Inokuchi S, Hayashi S, Wakabayashi T, Noda T (2017) Novel CPR system that predicts return of spontaneous circulation from amplitude spectral area before electric shock in ventricular fibrillation. *Resuscitation* 113:8–12
 201. He M, Lu Y, Zhang L, Zhang H, Gong Y, Li Y (2016) Combining amplitude spectrum area with previous shock information using neural networks improves prediction performance of defibrillation outcome for subsequent shocks in out-of-hospital cardiac arrest patients. *PLoS ONE* 11:e149115
 202. Shandilya S, Ward K, Kurz M, Najarian K (2012) Non-linear dynamical signal characterization for prediction of defibrillation success through machine learning. *BMC Med Inform Decis Mak* 12:116
 203. Nakagawa Y, Sato Y, Kojima T et al (2012) Electrical defibrillation outcome prediction by waveform analysis of ventricular fibrillation in cardiac arrest out of hospital patients. *Tokai J Exp Clin Med* 37:1–5
 204. Lin LY, Lo MT, Ko PC et al (2010) Detrended fluctuation analysis predicts successful defibrillation for out-of-hospital ventricular fibrillation cardiac arrest. *Resuscitation* 81:297–301
 205. Balderston JR, Gertz ZM, Ellenbogen KA, Schaaf KP, Ornato JP (2018) Association between ventricular fibrillation amplitude immediately prior to defibrillation and defibrillation success in out-of-hospital cardiac arrest. *Am Heart J* 201:72–76
 206. Agerskov M, Hansen MB, Nielsen AM, Møller TP, Wissenberg M, Rasmussen LS (2017) Return of spontaneous circulation and long-term survival according to feedback provided by automated external defibrillators. *Acta Anaesthesiol Scand* 61:1345–1353
 207. Coult J, Kwok H, Sherman L, Blackwood J, Kudenchuk PJ, Rea TD (2018) Ventricular fibrillation waveform measures combined with prior shock outcome predict defibrillation success during cardiopulmonary resuscitation. *J Electrocardiol* 51:99–106
 208. Hulleman M, Salcido DD, Menegazzi JJ et al (2017) Predictive value of amplitude spectrum area of ventricular fibrillation waveform in patients with acute or previous myocardial infarction in out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 120:125–131
 209. Jin D, Dai C, Gong Y et al (2017) Does the choice of definition for defibrillation and CPR success impact the predictability of ventricular fibrillation waveform analysis? *Resuscitation* 111:48–54
 210. Hidano D, Coult J, Blackwood J et al (2016) Ventricular fibrillation waveform measures and the etiology of cardiac arrest. *Resuscitation* 109:71–75
 211. Coult J, Sherman L, Kwok H, Blackwood J, Kudenchuk PJ, Rea TD (2016) Short ECG segments predict defibrillation outcome using quantitative waveform measures. *Resuscitation* 109:16–20
 212. Indik JH, Conover Z, McGovern M et al (2014) Association of amplitude spectral area of the ventricular fibrillation waveform with survival of out-of-hospital ventricular fibrillation cardiac arrest. *J Am Coll Cardiol* 64:1362–1369
 213. Howe A, Escalona OJ, Di Maio R et al (2014) A support vector machine for predicting defibrillation outcomes from waveform metrics. *Resuscitation* 85:343–349
 214. Wu X, Bisera J, Tang W (2013) Signal integral for optimizing the timing of defibrillation. *Resuscitation* 84:1704–1707
 215. Hall M, Phelps R, Fahrenbruch C, Sherman L, Blackwood J, Rea TD (2011) Myocardial substrate in secondary ventricular fibrillation: insights from quantitative waveform measures. *Prehosp Emerg Care* 15:388–392
 216. Foomany FH, Umapathy K, Sugavaneswaran L et al (2010) Wavelet-based markers of ventricular fibrillation in optimizing human cardiac resuscitation. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc* 2010:2001–2004
 217. Endoh H, Hida S, Oohashi S, Hayashi Y, Kinoshita H, Honda T (2011) Prompt prediction of successful defibrillation from 1-s ventricular fibrillation waveform in patients with out-of-hospital sudden cardiac arrest. *J Anesth* 25:34–41
 218. Kerber RE (1984) External defibrillation: new technologies. *Ann Emerg Med* 13:794–797
 219. Joglar JA, Kessler DJ, Welch PJ et al (1999) Effects of repeated electrical defibrillations on cardiac troponin I levels. *Am J Cardiol* 83:270–272 (A6)
 220. Kerber RE, Martins JB, Kienzle MG et al (1988) Energy, current, and success in defibrillation and cardioversion: clinical studies using an automated impedance-based method of energy adjustment. *Circulation* 77:1038–1046
 221. Deakin CD, Nolan JP, Soar J et al (2010) European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2010 section 4. Adult advanced life support. *Resuscitation* 81:1305–1352
 222. van Alem AP, Chapman FW, Lank P, Hart AA, Koster RW (2003) A prospective, randomised and blinded comparison of first shock success of monophasic and biphasic waveforms in out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 58:17–24
 223. Martens PR, Russell JK, Wolcke B et al (2001) Optimal response to cardiac arrest study: defibrillation waveform effects. *Resuscitation* 49:233–243
 224. Carpenter J, Rea TD, Murray JA, Kudenchuk PJ, Eisenberg MS (2003) Defibrillation waveform and post-shock rhythm in out-of-hospital ventricular fibrillation cardiac arrest. *Resuscitation* 59:189–196
 225. Gliner BE, Jorgenson DB, Poole JE et al (1998) Treatment of out-of-hospital cardiac arrest with a low-energy impedance-compensating biphasic waveform automatic external defibrillator. *The LIFE Investigators. Biomed Instrum Technol* 32:631–644
 226. White RD, Blackwell TH, Russell JK, Snyder DE, Jorgenson DB (2005) Transthoracic impedance does not affect defibrillation, resuscitation or survival in patients with out-of-hospital cardiac arrest treated with a non-escalating biphasic waveform defibrillator. *Resuscitation* 64:63–69
 227. Morrison LJ, Henry RM, Ku V, Nolan JP, Morley P, Deakin CD (2013) Single-shock defibrillation success in adult cardiac arrest: a systematic review. *Resuscitation* 84:1480–1486
 228. Stiell IG, Walker RG, Nesbitt LP et al (2007) BIPHASIC trial: a randomized comparison of fixed lower versus escalating higher energy levels for defibrillation in out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 115:1511–1517
 229. Walsh SJ, McClelland AJ, Owens CG et al (2004) Efficacy of distinct energy delivery protocols comparing two biphasic defibrillators for cardiac arrest. *Am J Cardiol* 94:378–380
 230. Olsen JA, Brunborg C, Steinberg M et al (2019) Survival to hospital discharge with biphasic fixed 360 joules versus 200 escalating to 360 joules defibrillation strategies in out-of-hospital cardiac arrest of presumed cardiac etiology. *Resuscitation* 136:112–118
 231. Anantharaman V, Tay SY, Manning PG et al (2017) A multicenter prospective randomized study comparing the efficacy of escalating higher biphasic versus low biphasic energy defibrillations in patients presenting with cardiac arrest in the in-hospital environment. *Open Access Emerg Med* 9:9–17
 232. Schneider T, Martens PR, Paschen H et al (2000) Multicenter, randomized, controlled trial of 150-J biphasic shocks compared with 200- to 360-J monophasic shocks in the resuscitation of out-of-hospital cardiac arrest victims. Optimized Response to Cardiac Arrest (ORCA) Investigators. *Circulation* 102:1780–1787
 233. Higgins SL, Herre JM, Epstein AE et al (2000) A comparison of biphasic and monophasic shocks for external defibrillation. *Physio-Control Biphasic Investigators. Prehosp Emerg Care* 4:305–313
 234. Berg RA, Samson RA, Berg MD et al (2005) Better outcome after pediatric defibrillation dosage than adult dosage in a swine model of pediatric ventricular fibrillation. *J Am Coll Cardiol* 45:786–789
 235. Killingsworth CR, Melnick SB, Chapman FW et al (2002) Defibrillation threshold and cardiac responses using an external biphasic defibrillator with pediatric and adult adhesive patches in pediatric-sized piglets. *Resuscitation* 55:177–185
 236. Tang W, Weil MH, Sun S et al (2004) The effects of biphasic waveform design on post-resuscitation myocardial function. *J Am Coll Cardiol* 43:1228–1235
 237. Xie J, Weil MH, Sun S et al (1997) High-energy defibrillation increases the severity of postresuscitation myocardial dysfunction. *Circulation* 96:683–688
 238. Koster RW, Walker RG, Chapman FW (2008) Recurrent ventricular fibrillation during advanced life support care of patients with prehospital cardiac arrest. *Resuscitation* 78:252–257
 239. Walker RG, Koster RW, Sun C et al (2009) Defibrillation probability and impedance change between shocks during resuscitation from out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 80:773–777
 240. Hess EP, Russell JK, Liu PY, White RD (2008) A high peak current 150-J fixed-energy defibrillation protocol treats recurrent ventricular fibrillation (VF) as effectively as initial VF. *Resuscitation* 79:28–33
 241. Deakin CD, Ambler JJ (2006) Post-shock myocardial stunning: a prospective randomised double-blind comparison of monophasic and biphasic waveforms. *Resuscitation* 68:329–333
 242. Khaykin Y, Newman D, Kowalewski M, Korley V, Dorian P (2003) Biphasic versus monophasic cardioversion in shock-resistant atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 14:868–872
 243. Koster RW, Dorian P, Chapman FW, Schmitt PW, O'Grady SG, Walker RG (2004) A randomized trial comparing monophasic and biphasic wave-

- form shocks for external cardioversion of atrial fibrillation. *Am Heart J* 147:e20
244. Mittal S, Ayati S, Stein KM et al (2000) Transthoracic cardioversion of atrial fibrillation: comparison of rectilinear biphasic versus damped sine wave monophasic shocks. *Circulation* 101:1282–1287
 245. Kmec J (2006) Comparison the effectiveness of damped sine wave monophasic and rectilinear biphasic shocks in patients with persistent atrial fibrillation. *Kardiologia* 15:265–278
 246. Kosior DA, Szulec M, Torbicki A, Opolski G, Rabczenko D (2005) A decrease of enlarged left atrium following cardioversion of atrial fibrillation predicts the long-term maintenance of sinus rhythm. *Kardiol Pol* 62:428–437
 247. Hess EP, Agarwal D, Myers LA, Atkinson EJ, White RD (2011) Performance of a rectilinear biphasic waveform in defibrillation of presenting and recurrent ventricular fibrillation: a prospective multicenter study. *Resuscitation* 82:685–689
 248. Eilevstjønn J, Kramer-Johansen J, Sundt K (2007) Shock outcome is related to prior rhythm and duration of ventricular fibrillation. *Resuscitation* 75:60–67
 249. Mapp JG, Hans AJ, Darrington AM et al (2019) Prehospital double sequential defibrillation: a matched case-control study. *Acad Emerg Med* 26:994–1001
 250. Ross EM, Redman TT, Harper SA, Mapp JG, Wampler DA, Miramontes DA (2016) Dual defibrillation in out-of-hospital cardiac arrest: a retrospective cohort analysis. *Resuscitation* 106:14–17
 251. Cortez E, Krebs W, Davis J, Keseg DP, Panchal AR (2016) Use of double sequential external defibrillation for refractory ventricular fibrillation during out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 108:82–86
 252. Beck LR, Ostermayer DG, Ponce JN, Srinivasan S, Wang HE (2019) Effectiveness of prehospital dual sequential defibrillation for refractory ventricular fibrillation and ventricular tachycardia cardiac arrest. *Prehosp Emerg Care* 23:597–602
 253. Emmerson AC, Whitbread M, Fothergill RT (2017) Double sequential defibrillation therapy for out-of-hospital cardiac arrests: the London experience. *Resuscitation* 117:97–101
 254. Cabanas JG, Myers JB, Williams JG, De Maio VJ, Bachman MW (2015) Double sequential external defibrillation in out-of-hospital refractory ventricular fibrillation: a report of ten cases. *Prehosp Emerg Care* 19:126–130
 255. Cheskes S, Wudwud A, Turner L et al (2019) The impact of double sequential external defibrillation on termination of refractory ventricular fibrillation during out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 139:275–281
 256. Cheskes S, Dorian P, Feldman M et al (2020) Double sequential external defibrillation for refractory ventricular fibrillation: the DOSE VF pilot randomized controlled trial. *Resuscitation* 150:178–184
 257. Deakin CD, Morley P, Soar J, Drennan IR (2020) Double (dual) sequential defibrillation for refractory ventricular fibrillation cardiac arrest: a systematic review. *Resuscitation* 155:24–31
 258. Friedman DJ, Parzynski CS, Varosy PD et al (2016) Trends and in-hospital outcomes associated with adoption of the subcutaneous implantable cardioverter defibrillator in the United States. *JAMA Cardiol* 1:900–911
 259. Knops RE, Olde Nordkamp LRA, Delnoy PHM et al (2020) Subcutaneous or transvenous defibrillator therapy. *N Engl J Med* 383:526–536
 260. Stockwell B, Bellis G, Morton G et al (2009) Electrical injury during “hands on” defibrillation—a potential risk of internal cardioverter defibrillators? *Resuscitation* 80:832–834
 261. Peran D, Cmorej PC, Pekara J (2019) Bystander hit by leakage current from S-ICD. *Resuscitation* 138:297–298
 262. Petley GW, Albon B, Banks P, Roberts PR, Deakin CD (2019) Leakage current from transvenous and subcutaneous implantable cardioverter defibrillators (ICDs): a risk to the rescuer? *Resuscitation* 137:148–153
 263. Monsieurs KG, Conraads VM, Goethals MP, Snoeck JP, Bossaert LL (1995) Semi-automatic external defibrillation and implanted cardiac pacemakers: understanding the interactions during resuscitation. *Resuscitation* 30:127–131
 264. Bengner JR, Kirby K, Black S et al (2018) Effect of a strategy of a supraglottic airway device vs tracheal intubation during out-of-hospital cardiac arrest on functional outcome: the AIRWAYS-2 randomized clinical trial. *JAMA* 320:779–791
 265. Jabre P, Penalzoa A, Pinero D et al (2018) Effect of bag-mask ventilation vs endotracheal intubation during cardiopulmonary resuscitation on neurological outcome after out-of-hospital cardiorespiratory arrest: a randomized clinical trial. *JAMA* 319:779–787
 266. Wang HE, Schmicker RH, Daya MR et al (2018) Effect of a strategy of initial laryngeal tube insertion vs endotracheal intubation on 72-hour survival in adults with out-of-hospital cardiac arrest: a randomized clinical trial. *JAMA* 320:769–778
 267. Granfeldt A, Avis SR, Nicholson TC et al (2019) Advanced airway management during adult cardiac arrest: a systematic review. *Resuscitation* 139:133–143
 268. Soar J, Maconochie I, Wyckoff MH et al (2019) 2019 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 145:95–150
 269. Andersen LW, Granfeldt A, Callaway CW et al (2017) Association between tracheal intubation during adult in-hospital cardiac arrest and survival. *JAMA* 317:494–506
 270. Soar J, Maconochie I, Wyckoff MH et al (2019) 2019 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations: summary from the basic life support; advanced life support; pediatric life support; neonatal life support; education, implementation, and teams; and first aid task forces. *Circulation* 140:e826–e880
 271. Voss S, Rhys M, Coates D et al (2014) How do paramedics manage the airway during out of hospital cardiac arrest? *Resuscitation* 85:1662–1666
 272. Nolan JP, Sandroni C, Böttiger BW et al (2021) Postreanimationsbehandlung. Leitlinien des European Resuscitation Council und der European Society of Intensive Care Medicine 2021. *Notfall Rettungsmed.* <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00892-y>
 273. Nolan JP, Sandroni C, Böttiger BW et al (2021) Postreanimationsbehandlung. Leitlinien des European Resuscitation Council und der European Society of Intensive Care Medicine 2021. *Notfall Rettungsmed.* <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00892-y>
 274. Olasveengen TM, Semeraro F, Ristagno G et al (2021) European Resuscitation Council guidelines 2021: basic life support. *Resuscitation* 161:98–114
 275. Couper K, Abu Hassan A, Ohri V et al (2020) Removal of foreign body airway obstruction: a systematic review of interventions. *Resuscitation* 156:174–181
 276. Nichol G, Leroux B, Wang H et al (2015) Trial of continuous or interrupted chest compressions during CPR. *N Engl J Med* 373:2203–2214
 277. Olasveengen TM, de Caen AR, Mancini ME et al (2017) 2017 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations summary. *Resuscitation* 121:201–214
 278. Vissers G, Soar J, Monsieurs KG (2017) Ventilation rate in adults with a tracheal tube during cardiopulmonary resuscitation: a systematic review. *Resuscitation* 119:5–12
 279. Deakin CD, O'Neill JF, Tabor T (2007) Does compression-only cardiopulmonary resuscitation generate adequate passive ventilation during cardiac arrest? *Resuscitation* 75:53–59
 280. Saissy JM, Boussignac G, Cheptel E et al (2000) Efficacy of continuous insufflation of oxygen combined with active cardiac compression-decompression during out-of-hospital cardiopulmonary arrest. *Anesthesiology* 92:1523–1530
 281. Bertrand C, Hemery F, Carli P et al (2006) Constant flow insufflation of oxygen as the sole mode of ventilation during out-of-hospital cardiac arrest. *Intensive Care Med* 32:843–851
 282. Bobrow BJ, Ewy GA, Clark L et al (2009) Passive oxygen insufflation is superior to bag-valve-mask ventilation for witnessed ventricular fibrillation out-of-hospital cardiac arrest. *Ann Emerg Med* 54:656–662.e1
 283. Grmec S (2002) Comparison of three different methods to confirm tracheal tube placement in emergency intubation. *Intensive Care Med* 28:701–704
 284. Lyon RM, Ferris JD, Young DM, McKeown DW, Oglesby AJ, Robertson C (2010) Field intubation of cardiac arrest patients: a dying art? *Emerg Med Clin North Am* 27:321–323
 285. Jones JH, Murphy MP, Dickson RL, Somerville GG, Brizendine EJ (2004) Emergency physician-verified out-of-hospital intubation: miss rates by paramedics. *Acad Emerg Med* 11:707–709
 286. Pelucio M, Halligan L, Dhindsa H (1997) Out-of-hospital experience with the syringe esophageal detector device. *Acad Emerg Med* 4:563–568
 287. Jemmett ME, Kendal KM, Fourre MW, Burton JH (2003) Unrecognized misplacement of endotracheal tubes in a mixed urban to rural emergency medical services setting. *Acad Emerg Med* 10:961–965
 288. Katz SH, Falk JL (2001) Misplaced endotracheal tubes by paramedics in an urban emergency medical services system. *Ann Emerg Med* 37:32–37
 289. Wang HE, Simeone SJ, Weaver MD, Callaway CW (2009) Interruptions in cardiopulmonary resuscitation from paramedic endotracheal intubation. *Ann Emerg Med* 54:645–652.e1
 290. Garza AG, Gratton MC, Coontz D, Noble E, Ma OJ (2003) Effect of paramedic experience on orotracheal intubation success rates. *J Emerg Med* 25:251–256
 291. Bradley JS, Billows GL, Olinger ML, Boha SP, Cordell WH, Nelson DR (1998) Prehospital oral endotracheal intubation by rural basic emergency medical technicians. *Ann Emerg Med* 32:26–32
 292. Sayre MR, Sakles JC, Mistler AF, Evans JL, Kramer AT, Pancioli AM (1998) Field trial of endotracheal intubation by basic EMTs. *Ann Emerg Med* 31:228–233

293. Bernhard M, Mohr S, Weigand MA, Martin E, Walther A (2012) Developing the skill of endotracheal intubation: implication for emergency medicine. *Acta Anaesthesiol Scand* 56:164–171
294. Cook TM, Boniface NJ, Seller C et al (2018) Universal videolaryngoscopy: a structured approach to conversion to videolaryngoscopy for all intubations in an anaesthetic and intensive care department. *Br J Anaesth* 120:173–180
295. Goto Y, Goto T, Hagiwara Y et al (2017) Techniques and outcomes of emergency airway management in Japan: an analysis of two multicentre prospective observational studies, 2010–2016. *Resuscitation* 114:14–20
296. Lee DH, Han M, An JY et al (2015) Video laryngoscopy versus direct laryngoscopy for tracheal intubation during in-hospital cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 89:195–199
297. Park SO, Kim JW, Na JH et al (2015) Video laryngoscopy improves the first-attempt success in endotracheal intubation during cardiopulmonary resuscitation among novice physicians. *Resuscitation* 89:188–194
298. Jiang J, Kang N, Li B, Wu AS, Xue FS (2020) Comparison of adverse events between video and direct laryngoscopes for tracheal intubations in emergency department and ICU patients—a systematic review and meta-analysis. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 28:10
299. Kim JW, Park SO, Lee KR et al (2016) Video laryngoscopy vs. direct laryngoscopy: Which should be chosen for endotracheal intubation during cardiopulmonary resuscitation? A prospective randomized controlled study of experienced intubators. *Resuscitation* 105:196–202
300. Jiang J, Ma D, Li B, Yue Y, Xue F (2017) Video laryngoscopy does not improve the intubation outcomes in emergency and critical patients—a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Crit Care* 21:288
301. Deakin CD, Morrison LJ, Morley PT et al (2010) Part 8: advanced life support: 2010 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 81(Suppl 1):e93–e174
302. Soar J, Callaway CW, Aibiki M et al (2015) Part 4: advanced life support: 2015 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 95:e71–e120
303. Paiva EF, Paxton JH, O’Neil BJ (2018) The use of end-tidal carbon dioxide (ETCO₂) measurement to guide management of cardiac arrest: a systematic review. *Resuscitation* 123:1–7
304. Grmec S, Mally S (2004) Prehospital determination of tracheal tube placement in severe head injury. *Emerg Med Clin North Am* 21:518–520
305. Knapp S, Kofler J, Stoiser B et al (1999) The assessment of four different methods to verify tracheal tube placement in the critical care setting. *Anesth Analg* 88:766–770
306. Takeda T, Tanigawa K, Tanaka H, Hayashi Y, Goto E, Tanaka K (2003) The assessment of three methods to verify tracheal tube placement in the emergency setting. *Resuscitation* 56:153–157
307. Cook TM, Harrop-Griffiths AW, Whitaker DK, McNarry AF, Patel A, McGuire B (2019) The “No Trace=Wrong Place” campaign. *Br J Anaesth* 122:e68–e69
308. Salem MR, Khorasani A, Zeidan A, Crystal GJ (2017) Cricoid pressure controversies: narrative review. *Anesthesiology* 126:738–752
309. Higgs A, McGrath BA, Goddard C et al (2018) Guidelines for the management of tracheal intubation in critically ill adults. *Br J Anaesth* 120:323–352
310. Granfeldt A, Avis SR, Lind PC et al (2020) Intravenous vs. intraosseous administration of drugs during cardiac arrest: a systematic review. *Resuscitation* 149:150–157
311. Feinstein BA, Stubbs BA, Rea T, Kudenchuk PJ (2017) Intraosseous compared to intravenous drug resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 117:91–96
312. Kawano T, Grunau B, Scheuermeyer FX et al (2018) Intraosseous vascular access is associated with lower survival and neurologic recovery among patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Ann Emerg Med* 71:588–596
313. Mody P, Brown SP, Kudenchuk PJ et al (2019) Intraosseous versus intravenous access in patients with out-of-hospital cardiac arrest: insights from the resuscitation outcomes consortium continuous chest compression trial. *Resuscitation* 134:69–75
314. Nolan JP, Deakin CD, Ji C et al (2020) Intraosseous versus intravenous administration of adrenaline in patients with out-of-hospital cardiac arrest: a secondary analysis of the PARAMEDIC2 placebo-controlled trial. *Intensive Care Med* 46:954–962
315. Daya MR, Leroux BG, Dorian P et al (2020) Survival after intravenous versus intraosseous amiodarone, lidocaine, or placebo in out-of-hospital shock-refractory cardiac arrest. *Circulation* 141:188–198
316. Perkins GD, Ji C, Deakin CD et al (2018) A randomized trial of epinephrine in out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 379:711–721
317. Finn J, Jacobs I, Williams TA, Gates S, Perkins GD (2019) Adrenaline and vasopressin for cardiac arrest. *Cochrane Database Syst Rev* 1:CD3179
318. Holmberg MJ, Issa MS, Moskowitz A et al (2019) Vasopressors during adult cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 139:106–121
319. Perkins GD, Kenna C, Ji C et al (2019) The effects of adrenaline in out of hospital cardiac arrest with shockable and non-shockable rhythms: findings from the PACA and PARAMEDIC-2 randomised controlled trials. *Resuscitation* 140:55–63
320. Perkins GD, Kenna C, Ji C et al (2020) The influence of time to adrenaline administration in the Paramedic 2 randomised controlled trial. *Intensive Care Med* 46:426–436
321. Soar J, Donnino MW, Maconochie I et al (2018) 2018 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations summary. *Resuscitation* 133:194–206
322. Ali MU, Fitzpatrick-Lewis D, Kenny M et al (2018) Effectiveness of antiarrhythmic drugs for shockable cardiac arrest: a systematic review. *Resuscitation* 132:63–72
323. Kudenchuk PJ, Brown SP, Daya M et al (2016) Amiodarone, lidocaine, or placebo in out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 374:1711–1722
324. Soar J, Perkins GD, Maconochie I et al (2019) European Resuscitation Council guidelines for resuscitation: 2018 update—antiarrhythmic drugs for cardiac arrest. *Resuscitation* 134:99–103
325. Böttiger BW, Arntz HR, Chamberlain DA et al (2008) Thrombolysis during resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 359:2651–2662
326. Yousuf T, Brinton T, Ahmed K et al (2016) Tissue plasminogen activator use in cardiac arrest secondary to fulminant pulmonary embolism. *J Clin Med Res* 8:190–195
327. Kurkciyan I, Meron G, Sterz F et al (2000) Pulmonary embolism as a cause of cardiac arrest: presentation and outcome. *Arch Intern Med* 160:1529–1535
328. Janata K, Holzer M, Kurkciyan I et al (2003) Major bleeding complications in cardiopulmonary resuscitation: the place of thrombolytic therapy in cardiac arrest due to massive pulmonary embolism. *Resuscitation* 57:49–55
329. Javaudin F, Lascarrou JB, Le Bastard Q et al (2019) Thrombolysis during resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest caused by pulmonary embolism increases 30-day survival: findings from the French National Cardiac Arrest Registry. *Chest* 156:1167–1175
330. Böttiger BW, Böhrer H, Bach A, Motsch J, Martin E (1994) Bolus injection of thrombolytic agents during cardiopulmonary resuscitation for massive pulmonary embolism. *Resuscitation* 28:45–54
331. Wu JP, Gu DY, Wang S, Zhang ZJ, Zhou JC, Zhang RF (2014) Good neurological recovery after rescue thrombolysis of presumed pulmonary embolism despite prior 100 min CPR. *J Thorac Dis* 6:E289–E293
332. Summers K, Schultheis J, Raiff D, Dahhan T (2019) Evaluation of rescue thrombolysis in cardiac arrest secondary to suspected or confirmed pulmonary embolism. *Ann Pharmacother* 53:711–715
333. Bernard SA, Smith K, Finn J et al (2016) Induction of therapeutic hypothermia during out-of-hospital cardiac arrest using a rapid infusion of cold saline: the RINSE trial (rapid infusion of cold normal saline). *Circulation* 134:797–805
334. Kim F, Nichol G, Maynard C et al (2014) Effect of prehospital induction of mild hypothermia on survival and neurological status among adults with cardiac arrest: a randomized clinical trial. *JAMA* 311:45–52
335. Maynard C, Longstreth WT Jr, Nichol G et al (2015) Effect of prehospital induction of mild hypothermia on 3-month neurological status and 1-year survival among adults with cardiac arrest: long-term follow-up of a randomized, clinical trial. *J Am Heart Assoc* 4:e1693
336. Soar J, Foster J, Breikreutz R (2009) Fluid infusion during CPR and after ROSC—Is it safe? *Resuscitation* 80:1221–1222
337. Sandroni C, De Santis P, D’Arrigo S (2018) Capnography during cardiac arrest. *Resuscitation* 132:73–77
338. Gutiérrez JJ, Ruiz JM, Ruiz de Gauna S et al (2020) Modeling the impact of ventilations on the capnogram in out-of-hospital cardiac arrest. *PLoS ONE* 15:e228395
339. Hamrick JL, Hamrick JT, Lee JK, Lee BH, Koehler RC, Shaffner DH (2014) Efficacy of chest compressions directed by end-tidal CO₂ feedback in a pediatric resuscitation model of basic life support. *J Am Heart Assoc* 3:e450
340. Sheak KR, Wiebe DJ, Leary M et al (2015) Quantitative relationship between end-tidal carbon dioxide and CPR quality during both in-hospital and out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 89:149–154
341. Garnett AR, Ornato JP, Gonzalez ER, Johnson EB (1987) End-tidal carbon dioxide monitoring during cardiopulmonary resuscitation. *JAMA* 257:512–515
342. Pokorna M, Necas E, Kratochvil J, Skripsky R, Andriik M, Franek O (2010) A sudden increase in partial pressure end-tidal carbon dioxide (P_{ET}CO₂) at the moment of return of spontaneous circulation. *J Emerg Med* 38:614–621

343. Lui CT, Poon KM, Tsui KL (2016) Abrupt rise of end tidal carbon dioxide level was a specific but non-sensitive marker of return of spontaneous circulation in patient with out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 104:53–58
344. Sandroni C, Ristagno G (2016) End-tidal CO₂ to detect recovery of spontaneous circulation during cardiopulmonary resuscitation: we are not ready yet. *Resuscitation* 104:A5–A6
345. Levine RL, Wayne MA, Miller CC (1997) End-tidal carbon dioxide and outcome of out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 337:301–306
346. Sutton RM, French B, Meaney PA et al (2016) Physiologic monitoring of CPR quality during adult cardiac arrest: a propensity-matched cohort study. *Resuscitation* 106:76–82
347. Conseil français de réanimation cardiopulmonaire, Société française d'anesthésie et de réanimation, Société française de cardiologie et al (2009) Guidelines for indications for the use of extracorporeal life support in refractory cardiac arrest. French Ministry of Health. *Ann Fr Anesth Reanim* 28:182–190
348. Kolar M, Krizmaric M, Klemen P, Grmec S (2008) Partial pressure of end-tidal carbon dioxide successful predicts cardiopulmonary resuscitation in the field: a prospective observational study. *Crit Care* 12:R115
349. Poppe M, Stratil P, Clodi C et al (2019) Initial end-tidal carbon dioxide as a predictive factor for return of spontaneous circulation in nonshockable out-of-hospital cardiac arrest patients: a retrospective observational study. *Eur J Anaesthesiol* 36:524–530
350. Grmec S, Lah K, Tusek-Bunc K (2003) Difference in end-tidal CO₂ between asphyxia cardiac arrest and ventricular fibrillation/pulseless ventricular tachycardia cardiac arrest in the prehospital setting. *Crit Care* 7:R139–R144
351. Heradstveit BE, Sunde K, Sunde GA, Wentzel-Larsen T, Heltné JK (2012) Factors complicating interpretation of capnography during advanced life support in cardiac arrest—a clinical retrospective study in 575 patients. *Resuscitation* 83:813–818
352. Gazmuri RJ, Ayoub IM, Radhakrishnan J, Motl J, Upadhyaya MP (2012) Clinically plausible hyper-ventilation does not exert adverse hemodynamic effects during CPR but markedly reduces end-tidal pCO₂. *Resuscitation* 83:259–264
353. Grieco DL, Brochard LJ, Drouet A et al (2019) Intrathoracic airway closure impacts CO₂ signal and delivered ventilation during cardiopulmonary resuscitation. *Am J Respir Crit Care Med* 199:728–737
354. Callahan M, Barton C, Matthay M (1992) Effect of epinephrine on the ability of end-tidal carbon dioxide readings to predict initial resuscitation from cardiac arrest. *Crit Care Med* 20:337–343
355. Hardig BM, Götberg M, Rundgren M et al (2016) Physiologic effect of repeated adrenaline (epinephrine) doses during cardiopulmonary resuscitation in the cath lab setting: a randomised porcine study. *Resuscitation* 101:77–83
356. Brinkrolf P, Borowski M, Metelmann C, Lukas RP, Pidde-Kullenberg L, Bohn A (2018) Predicting ROSC in out-of-hospital cardiac arrest using expiratory carbon dioxide concentration: Is trend-detection instead of absolute threshold values the key? *Resuscitation* 122:19–24
357. Reynolds JC, Issa MS, Nicholson TC et al (2020) Prognostication with point-of-care echocardiography during cardiac arrest: a systematic review. *Resuscitation* 152:56–68
358. Huis In 't Veld MA, Allison MG, Bostick DS et al (2017) Ultrasound use during cardiopulmonary resuscitation is associated with delays in chest compressions. *Resuscitation* 119:95–98
359. Clattenburg EJ, Wroe P, Brown S et al (2018) Point-of-care ultrasound use in patients with cardiac arrest is associated prolonged cardiopulmonary resuscitation pauses: a prospective cohort study. *Resuscitation* 122:65–68
360. Berg RA, Sorrell VL, Kern KB et al (2005) Magnetic resonance imaging during untreated ventricular fibrillation reveals prompt right ventricular overdistention without left ventricular volume loss. *Circulation* 111:1136–1140
361. Querellou E, Leyral J, Brun C et al (2009) In and out-of-hospital cardiac arrest and echography: a review. *Ann Fr Anesth Reanim* 28:769–778
362. Blanco P, Volpicelli G (2016) Common pitfalls in point-of-care ultrasound: a practical guide for emergency and critical care physicians. *Crit Ultrasound J* 8:15
363. Aagaard R, Granfeldt A, Botker MT, Mygind-Klausen T, Kirkegaard H, Lofgren B (2017) The right ventricle is dilated during resuscitation from cardiac arrest caused by hypovolemia: a porcine ultrasound study. *Crit Care Med* 45:e963–e970
364. Teran F (2019) Resuscitative cardiopulmonary ultrasound and transthoracic echocardiography in the emergency department. *Emerg Med Clin North Am* 37:409–430
365. Perkins GD, Lall R, Quinn T et al (2015) Mechanical versus manual chest compression for out-of-hospital cardiac arrest (PARAMEDIC): a pragmatic, cluster randomised controlled trial. *Lancet* 385:947–955
366. Rubertsson S, Lindgren E, Smekal D et al (2014) Mechanical chest compressions and simultaneous defibrillation vs conventional cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest: the LINC randomized trial. *JAMA* 311:53–61
367. Hallstrom A, Rea TD, Sayre MR et al (2006) Manual chest compression vs use of an automated chest compression device during resuscitation following out-of-hospital cardiac arrest: a randomized trial. *JAMA* 295:2620–2628
368. Wik L, Olsen JA, Persse D et al (2014) Manual vs. integrated automatic load-distributing band CPR with equal survival after out of hospital cardiac arrest. The randomized CIRC trial. *Resuscitation* 85:741–748
369. Lu XG, Kang X, Gong DB (2010) The clinical efficacy of Thumper modal 1007 cardiopulmonary resuscitation: a prospective randomized control trial. *Zhongguo Wei Zhong Bing Ji Jiu Yi Xue* 22:496–497
370. Smekal D, Johansson J, Huzevka T, Rubertsson S (2011) A pilot study of mechanical chest compressions with the LUCAS device in cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 82:702–706
371. Dickinson ET, Verdile VP, Schneider RM, Salluzzo RF (1998) Effectiveness of mechanical versus manual chest compressions in out-of-hospital cardiac arrest resuscitation: a pilot study. *Am J Emerg Med* 16:289–292
372. Halperin HR, Tsitlik JE, Gelfand M et al (1993) A preliminary study of cardiopulmonary resuscitation by circumferential compression of the chest with use of a pneumatic vest. *N Engl J Med* 329:762–768
373. Koster RW, Beenen LF, van der Boom EB et al (2017) Safety of mechanical chest compression devices AutoPulse and LUCAS in cardiac arrest: a randomized clinical trial for non-inferiority. *Eur Heart J* 38:3006–3013
374. Gao C, Chen Y, Peng H, Chen Y, Zhuang Y, Zhou S (2016) Clinical evaluation of the AutoPulse automated chest compression device for out-of-hospital cardiac arrest in the northern district of Shanghai, China. *Arch Med Sci* 12:563–570
375. Liu M, Shuai Z, Ai J et al (2019) Mechanical chest compression with LUCAS device does not improve clinical outcome in out-of-hospital cardiac arrest patients: a systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)* 98:e17550
376. Zhu N, Chen Q, Jiang Z et al (2019) A meta-analysis of the resuscitative effects of mechanical and manual chest compression in out-of-hospital cardiac arrest patients. *Crit Care* 23:100
377. Wang PL, Brooks SC (2018) Mechanical versus manual chest compressions for cardiac arrest. *Cochrane Database Syst Rev* 8:CD7260
378. Gates S, Quinn T, Deakin CD, Blair L, Couper K, Perkins GD (2015) Mechanical chest compression for out of hospital cardiac arrest: systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 94:91–97
379. Couper K, Yeung J, Nicholson T, Quinn T, Lall R, Perkins GD (2016) Mechanical chest compression devices at in-hospital cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 103:24–31
380. Khan SU, Lone AN, Talluri S, Khan MZ, Khan MU, Kaluski E (2018) Efficacy and safety of mechanical versus manual compression in cardiac arrest—a Bayesian network meta-analysis. *Resuscitation* 130:182–188
381. Li H, Wang D, Yu Y, Zhao X, Jing X (2016) Mechanical versus manual chest compressions for cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 24:10
382. Poole K, Couper K, Smyth MA, Yeung J, Perkins GD (2018) Mechanical CPR: Who? When? How? *Crit Care* 22:140
383. Brouwer TF, Walker RG, Chapman FW, Koster RW (2015) Association between chest compression interruptions and clinical outcomes of ventricular fibrillation out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 132:1030–1037
384. Yost D, Phillips RH, Gonzales L et al (2012) Assessment of CPR interruptions from transthoracic impedance during use of the LUCAS mechanical chest compression system. *Resuscitation* 83:961–965
385. Levy M, Yost D, Walker RG, Scheunemann E, Mendive SR (2015) A quality improvement initiative to optimize use of a mechanical chest compression device within a high-performance CPR approach to out-of-hospital cardiac arrest resuscitation. *Resuscitation* 92:32–37
386. Esibov A, Banville I, Chapman FW, Boomsars R, Box M, Rubertsson S (2015) Mechanical chest compressions improved aspects of CPR in the LINC trial. *Resuscitation* 91:116–121
387. Couper K, Velho RM, Quinn T et al (2018) Training approaches for the deployment of a mechanical chest compression device: a randomised controlled manikin study. *BMJ Open* 8:e19009
388. Richardson AS, Schmidt M, Bailey M, Pellegrino VA, Rycus PT, Pilcher DV (2017) ECMO Cardiopulmonary resuscitation (ECP), trends in survival from an international multicentre cohort study over 12-years. *Resuscitation* 112:34–40
389. Hutin A, Abu-Habsa M, Burns B et al (2018) Early ECP for out-of-hospital cardiac arrest: best practice in 2018. *Resuscitation* 130:44–48
390. Swol J, Belohlavek J, Brodie D et al (2018) Extracorporeal life support in the emergency department: a narrative review for the emergency physician. *Resuscitation* 133:108–117

391. Dennis M, Lal S, Forrest P et al (2020) In-depth extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in adult out-of-hospital cardiac arrest. *J Am Heart Assoc* 9:e16521
392. Holmberg MJ, Geri G, Wiberg S et al (2018) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for cardiac arrest: a systematic review. *Resuscitation* 131:91–100
393. Yannopoulos D, Bartos J, Raveendran G et al (2020) Advanced reperfusion strategies for patients with out-of-hospital cardiac arrest and refractory ventricular fibrillation (ARREST): a phase 2, single centre, open-label, randomised controlled trial. *Lancet* 396:1807–1816
394. Gugliin M, Zucker MJ, Bazan VM et al (2019) Venoarterial ECMO for adults: JACC scientific expert panel. *J Am Coll Cardiol* 73:698–716
395. Debaty G, Babaz V, Durand M et al (2017) Prognostic factors for extracorporeal cardiopulmonary resuscitation recipients following out-of-hospital refractory cardiac arrest. A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 112:1–10
396. Yu HY, Wang CH, Chi NH et al (2019) Effect of interplay between age and low-flow duration on neurologic outcomes of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *Intensive Care Med* 45:44–54
397. Lott C, Truhlář A, Alfonso A et al (2021) Kreislaufstillstand unter besonderen Umständen. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. *Notfall Rettungsmed.* <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00891-z>
398. Dennis M, Zmudzki F, Burns B et al (2019) Cost effectiveness and quality of life analysis of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (ECPR) for refractory cardiac arrest. *Resuscitation* 139:49–56
399. Kawashima T, Uehara H, Miyagi N et al (2019) Impact of first documented rhythm on cost-effectiveness of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 140:74–80
400. Bharmal MI, Venturini JM, Chua RFM et al (2019) Cost-utility of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in patients with cardiac arrest. *Resuscitation* 136:126–130
401. Page RL, Joglar JA, Caldwell MA et al (2016) 2015 ACC/AHA/HRS guideline for the management of adult patients with supraventricular tachycardia: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Heart Rhythm Society. *J Am Coll Cardiol* 67:e27–e115
402. Kirchhof P, Benussi S, Kotecha D et al (2016) 2016 ESC guidelines for the management of atrial fibrillation developed in collaboration with EACTS. *Eur Heart J* 37:2893–2962
403. January CT, Wann LS, Calkins H et al (2019) 2019 AHA/ACC/HRS focused update of the 2014 AHA/ACC/HRS guideline for the management of patients with atrial fibrillation: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Heart Rhythm Society. *J Am Coll Cardiol* 74:104–132
404. Kusumoto FM, Schoenfeld MH, Barrett C et al (2019) 2018 ACC/AHA/HRS guideline for the evaluation and management of patients with bradycardia and cardiac conduction delay: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Heart Rhythm Society. *J Am Coll Cardiol* 74:e51–e156
405. Hindricks G, Potpara T, Dagres N et al (2021) 2020 ESC guidelines for the diagnosis and management of atrial fibrillation developed in collaboration with the European Association of Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J* 42(5):373–498
406. Bernheim A, Fatio R, Kiowski W, Weilenmann D, Rickli H, Rocca HP (2004) Atropine often results in complete atrioventricular block or sinus arrest after cardiac transplantation: an unpredictable and dose-independent phenomenon. *Transplantation* 77:1181–1185
407. Roth A, Elkayam I, Shapira I et al (2003) Effectiveness of prehospital synchronous direct-current cardioversion for supraventricular tachyarrhythmias causing unstable hemodynamic states. *Am J Cardiol* 91:489–491
408. Wittwer MR, Rajendran S, Kealley J, Arstall MA (2015) A South Australian registry of biphasic cardioversions of atrial arrhythmias: efficacy and predictors of success. *Heart Lung Circ* 24:342–347
409. Reisinger J, Gstrein C, Winter T et al (2010) Optimization of initial energy for cardioversion of atrial tachyarrhythmias with biphasic shocks. *Am J Emerg Med* 28:159–165
410. Lown B (1967) Electrical reversion of cardiac arrhythmias. *Br Heart J* 29:469–489
411. Deakin CD, Connolly S, Wharton R, Yuen HM (2013) A comparison of rectilinear and truncated exponential biphasic waveforms in elective cardioversion of atrial fibrillation: a prospective randomized controlled trial. *Resuscitation* 84:286–291
412. Schmidt AS, Lauridsen KG, Torp P, Bach LF, Rickers H, Lofgren B (2020) Maximum-fixed energy shocks for cardioverting atrial fibrillation. *Eur Heart J* 41:626–631
413. Pinski SL, Sgarbossa EB, Ching E, Trohman RG (1999) A comparison of 50-J versus 100-J shocks for direct-current cardioversion of atrial flutter. *Am Heart J* 137:439–442
414. Kerber RE, Kienle MG, Olshansky B et al (1992) Ventricular tachycardia rate and morphology determine energy and current requirements for transthoracic cardioversion. *Circulation* 85:158–163
415. Hedges JR, Syverud SA, Dalsey WC, Feero S, Easter R, Shultz B (1987) Prehospital trial of emergency transcutaneous cardiac pacing. *Circulation* 76:1337–1343
416. Barthell E, Troiano P, Olson D, Stueven HA, Hendley G (1988) Prehospital external cardiac pacing: a prospective, controlled clinical trial. *Ann Emerg Med* 17:1221–1226
417. Cummins RO, Graves JR, Larsen MP et al (1993) Out-of-hospital transcutaneous pacing by emergency medical technicians in patients with asystolic cardiac arrest. *N Engl J Med* 328:1377–1382
418. Ornato JP, Peberdy MA (1996) The mystery of bradycardia during cardiac arrest. *Ann Emerg Med* 27:576–587
419. Niemann JT, Adomian GE, Garner D, Rosborough JP (1985) Endocardial and transcutaneous cardiac pacing, calcium chloride, and epinephrine in postcountershock asystole and bradycardias. *Crit Care Med* 13:699–704
420. Quan L, Graves JR, Kinder DR, Horan S, Cummins RO (1992) Transcutaneous cardiac pacing in the treatment of out-of-hospital pediatric cardiac arrests. *Ann Emerg Med* 21:905–909
421. Dalsey WC, Syverud SA, Hedges JR (1985) Emergency department use of transcutaneous pacing for cardiac arrests. *Crit Care Med* 13:399–401
422. Knowlton AA, Falk RH (1986) External cardiac pacing during in-hospital cardiac arrest. *Am J Cardiol* 57:1295–1298
423. Ornato JP, Carveth WL, Windle JR (1984) Pacemaker insertion for prehospital bradycardic cardiac arrest. *Ann Emerg Med* 13:101–103
424. Chan L, Reid C, Taylor B (2002) Effect of three emergency pacing modalities on cardiac output in cardiac arrest due to ventricular asystole. *Resuscitation* 52:117–119
425. Eich C, Bleckmann A, Schwarz SK (2007) Percussion pacing—an almost forgotten procedure for haemodynamically unstable bradycardias? A report of three case studies and review of the literature. *Br J Anaesth* 98:429–433
426. Manara AR, Dominguez-Gil B, Perez-Villares JM, Soar J (2016) What follows refractory cardiac arrest: death, extra-corporeal cardiopulmonary resuscitation (E-CPR), or uncontrolled donation after circulatory death? *Resuscitation* 108:A3–A5
427. Thuong M, Ruiz A, Ervard P et al (2016) New classification of donation after circulatory death donors definitions and terminology. *Transpl Int* 29:749–759
428. Champigneulle B, Fioux F, Cheisson G et al (2015) French survey of the first three-years of liver transplantation activity from uncontrolled donors deceased after cardiac death. *Anaesth Crit Care Pain Med* 34:35–39
429. Dupriez F, De Pauw L, Darius T et al (2014) Fourteen years of experience in uncontrolled organ donation after cardio-circulatory death. *Transplant Proc* 46:3134–3137
430. Fioux F, Lossier MR, Bourgeois E et al (2009) Kidney retrieval after sudden out of hospital refractory cardiac arrest: a cohort of uncontrolled non heart beating donors. *Crit Care* 13:R141
431. Fondevila C, Hessheimer AJ, Flores E et al (2012) Applicability and results of Maastricht type 2 donation after cardiac death liver transplantation. *Am J Transplant* 12:162–170
432. Gamez P, Cordoba M, Ussetti P et al (2005) Lung transplantation from out-of-hospital non-heart-beating lung donors. one-year experience and results. *J Heart Lung Transplant* 24:1098–1102
433. Mateos-Rodríguez AA, Navalpotro-Pascual JM, Del Rio Gallegos F, Andrés-Belmonte A (2012) Out-hospital donors after cardiac death in Madrid, Spain: a 5-year review. *Australas Emerg Nurs J* 15:164–169
434. Ortega-Deballon I, Hornby L, Shemie SD (2015) Protocols for uncontrolled donation after circulatory death: a systematic review of international guidelines, practices and transplant outcomes. *Crit Care* 19:268
435. Peters-Sengers H, Homan van der Heide JJ, Heemskerk MBA et al (2017) Similar 5-year estimated glomerular filtration rate between kidney transplants from uncontrolled and controlled donors after circulatory death—a Dutch cohort study. *Transplantation* 101:1144–1151
436. Mateos-Rodríguez A, Pardillos-Ferrer L, Navalpotro-Pascual JM, Barba-Alonso C, Martín-Maldonado ME, Andrés-Belmonte A (2010) Kidney transplant function using organs from non-heart-beating donors maintained by mechanical chest compressions. *Resuscitation* 81:904–907
437. Sánchez-Fructuoso AI, Marques M, Prats D et al (2006) Victims of cardiac arrest occurring outside the hospital: a source of transplantable kidneys. *Ann Intern Med* 145:157–164
438. Miñambres E, Rubio JJ, Coll E, Domínguez-Gil B (2018) Donation after circulatory death and its expansion in Spain. *Curr Opin Organ Transplant* 23:120–129
439. West S, Soar J, Callaway CW (2016) The viability of transplanting organs from donors who underwent

- cardiopulmonary resuscitation: a systematic review. *Resuscitation* 108:27–33
440. Domínguez-Gil B, Duranteau J, Mateos A et al (2016) Uncontrolled donation after circulatory death: European practices and recommendations for the development and optimization of an effective programme. *Transpl Int* 29:842–859
441. Dalle Ave AL, Bernat JL (2018) Uncontrolled donation after circulatory determination of death: a systematic ethical analysis. *J Intensive Care Med* 33:624–634
442. Molina M, Domínguez-Gil B, Pérez-Villares JM, Andrés A (2019) Uncontrolled donation after circulatory death: ethics of implementation. *Curr Opin Organ Transplant* 24:358–363
443. Gordon L, Pasquier M, Brugger H, Paal P (2020) Autoresuscitation (Lazarus phenomenon) after termination of cardiopulmonary resuscitation—a scoping review. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 28:14
444. Bruce CM, Reed MJ, MacDougall M (2013) Are the public ready for organ donation after out of hospital cardiac arrest? *Emerg Med J* 30:226–231
445. Joffe AR, Carcillo J, Anton N et al (2011) Donation after cardiocirculatory death: a call for a moratorium pending full public disclosure and fully informed consent. *Philos Ethics Humanit Med* 6:17
446. Rodríguez-Arias D, Tortosa JC, Burant CJ, Aubert P, Aulio MP, Youngner SJ (2013) One or two types of death? Attitudes of health professionals towards brain death and donation after circulatory death in three countries. *Med Health Care Philos* 16:457–467
447. Manara A, Shemie SD, Large S et al (2020) Maintaining the permanence principle for death during in situ normothermic regional perfusion for donation after circulatory death organ recovery: A United Kingdom and Canadian proposal. *Am J Transplant* 20:2017–2025
448. Mentzelopoulos SD, Couper K, Van de Voorde P et al (2021) Ethik der Reanimation und Entscheidungen am Lebensende. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. *Notfall Rettungsmed*. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00888-8>
449. Mentzelopoulos SD, Couper K, Van de Voorde P et al (2021) European Resuscitation Council guidelines 2021: ethics of resuscitation and end of life decisions. *Resuscitation* 161:408–432
450. Bleijenberg E, Koster RW, de Vries H, Beelems SG (2017) The impact of post-resuscitation feedback for paramedics on the quality of cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 110:1–5
451. Couper K, Kimani PK, Davies RP et al (2016) An evaluation of three methods of in-hospital cardiac arrest educational debriefing: the cardiopulmonary resuscitation debriefing study. *Resuscitation* 105:130–137
452. Edelson DP, Litzinger B, Arora V et al (2008) Improving in-hospital cardiac arrest process and outcomes with performance debriefing. *Arch Intern Med* 168:1063–1069
453. Wolfe H, Zebuhr C, Topjian AA et al (2014) Interdisciplinary ICU cardiac arrest debriefing improves survival outcomes. *Crit Care Med* 42:1688–1695
454. Couper K, Perkins GD (2013) Debriefing after resuscitation. *Curr Opin Crit Care* 19:188–194

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:447–523
<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00891-z>
 Angenommen: 19. April 2021
 Online publiziert: 10. Juni 2021
 © European Resuscitation Council (ERC),
 German Resuscitation Council (GRC), Austrian
 Resuscitation Council (ARC) 2021



Carsten Lott¹ · Anatolij Truhlár^{2,3} · Anette Alfonzo⁴ · Alessandro Barelli⁵ ·
 Violeta González-Salvado⁶ · Jochen Hinkelbein⁷ · Jerry P. Nolan^{8,9} · Peter Paal¹⁰ ·
 Gavin D. Perkins^{11,12} · Karl-Christian Thies¹³ · Joyce Yeung^{11,12} · David A. Zideman¹⁴ ·
 Jasmeel Soar¹⁵

¹ Department of Anesthesiology, University Medical Center, Johannes Gutenberg-University Mainz, Mainz, Deutschland; ² Emergency Medical Services of the Hradec Králové Region, Hradec Králové, Tschechien; ³ Department of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine, University Hospital Hradec Králové, Charles University in Prague, Hradec Králové, Tschechien; ⁴ Departments of Renal and Internal Medicine, Victoria Hospital, Kirkcaldy, Großbritannien; ⁵ Anaesthesiology and Intensive Care, Teaching and research Unit, Emergency Territorial Agency ARES 118, Catholic University School of Medicine, Rom, Italien; ⁶ Cardiology Department, University Clinical Hospital of Santiago de Compostela, Institute of Health Research of Santiago de Compostela (IDIS), Biomedical Research Networking Centres on Cardiovascular Disease (CIBER-CV), A Coruña, Spanien; ⁷ Department of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine, University Hospital of Cologne, Köln, Deutschland; ⁸ Resuscitation Medicine, Warwick Medical School, University of Warwick, Coventry, Großbritannien; ⁹ Anaesthesia and Intensive Care Medicine, Royal United Hospital, Bath, Großbritannien; ¹⁰ Department of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine, Hospitallers Brothers Hospital, Paracelsus Medical University, Salzburg, Österreich; ¹¹ Warwick Clinical Trials Unit, Warwick Medical School, University of Warwick, Coventry, Großbritannien; ¹² University Hospitals Birmingham NHS Foundation Trust, Birmingham, Großbritannien; ¹³ Dep. of Anesthesiology and Critical Care, Bethel Evangelical Hospital, University Medical Center OLW, Bielefeld University, Bielefeld, Deutschland; ¹⁴ Thames Valley Air Ambulance, Stokenchurch, Großbritannien; ¹⁵ Southmead Hospital, North Bristol NHS Trust, Bristol, Großbritannien

Kreislaufstillstand unter besonderen Umständen

Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Die Leitlinien wurden mit dem generischen Maskulinum übersetzt. Bitte beachten Sie, dass alle Personenbezeichnungen gleichermaßen für beide Geschlechter gelten.

Die Übersetzung beruht auf der Version vom 29.01.2021. Bis zur Publikation des englischen Originals in *Resuscitation* wurden in manchen Kapiteln Literaturstellen korrigiert oder andere Änderungen vorgenommen, die den Sinn nicht wesentlich ändern.

Zu diesem Kapitel haben beigetragen

Gamal Eldin Abbas Khalifa¹, Efrén Álvarez⁴, Roberta Barelli², Joost J.L.M. Bierens¹, Bernd Boettiger¹, Guttorm Brattebø¹, Douglas Browne³, Hermann Brugger^{1,3}, Tomasz Darocha³, Charles D. Deakin¹, Joel Dunning¹, Silvija Hunyadi-Anticevic¹, Rudolph W. Koster¹, David J. Lockey¹, Mathieu Pasquier³, Jan Schmitz⁵.

¹ Wesentlicher Input Leitlinien 2015

² Wesentlicher Input Abschnitt Giftstoffe

³ Wesentlicher Input Abschnitt Hypothermie

⁴ Wesentlicher Input Abschnitte für Koronarthrombose, Katheterlabor und Herzchirurgie

⁵ Wesentlicher Input Kreislaufstillstand im Operationssaal, Inflight-Kreislaufstillstand, Hubschrauberrettungsdienst (HEMS) und Luftrettungsflugzeuge und Kreuzfahrtschiffe

Zusatzmaterial online

Die Online-Version dieses Beitrags (<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00891-z>) enthält das originale Zusatzmaterial aus dem Artikel in *Resuscitation*. Beitrag und Zusatzmaterial stehen Ihnen auf www.springermedizin.de zur Verfügung. Bitte geben Sie dort den Beitragstitel in die Suche ein, das Zusatzmaterial finden Sie beim Beitrag unter „Ergänzende Inhalte“.

Einführung

Unabhängig von der Ursache des Kreislaufstillstands sind die wichtigsten Interventionen der Überlebenskette allgemeingültig [1]. Dazu gehören Früherkennung und Hilferuf, Behandlung des sich verschlechternden Patienten zur Verhinderung eines Kreislaufstillstands, sofortige Defibrillation und qualitativ hochwertige kardiopulmonale Wiederbelebung (CPR) bei minimaler Unterbre-

chung der Thoraxkompressionen sowie die Behandlung der reversiblen Ursachen und die Postreanimationsbehandlung. Unter bestimmten Umständen müssen jedoch lebensrettende Basismaßnahmen und erweiterte lebensrettende Maßnahmen modifiziert werden. Diese Leitlinie zur „Wiederbelebung unter besonderen Umständen“ gliedert sich in drei Teile: besondere Ursachen, besondere Umstände und besondere Patienten. Der erste Teil befasst sich mit der Behandlung potenziell reversibler Ursachen für einen Kreislaufstillstand, für die es eine spezifische Behandlung gibt und die während der erweiterten lebensrettenden Maßnahmen (ALS) identifiziert oder ausgeschlossen werden müssen. Zur Verbesserung der Merkfähigkeit werden diese, basierend auf ihrem Anfangsbuchstaben – entweder H's oder HITS – in zwei Vierergruppen unterteilt und als „H's und HITS“ bezeichnet; H's: Hypoxie, Hypovolämie, Hypo-/Hyperkaliämie



Abb. 1 ▲ Infografik „Besondere Umstände“

und andere Elektrolytstörungen, Hypo-/Hyperthermie; sowie HITS: Herzbeutelamponade, Intoxikation, Thrombose (koronar und pulmonal), Spannungspneumothorax. Der zweite Teil behandelt den Kreislaufstillstand unter besonderen Umständen, für die die universellen Leitlinien wegen spezifischer Lokalisationen oder ortsspezifischer Ursachen des Kreislaufstillstands geändert werden müssen. Der dritte Teil konzentriert sich auf besondere Patienten mit bestimmten Erkrankungen und solche mit bestimmten langfristigen Komorbiditäten, bei denen ein modifizierter Ansatz

und andere Behandlungsentscheidungen erforderlich sein können.

Viele der ausgewählten Themen waren nicht Teil der ILCOR-Reviews. Das ILCOR hat Übersichten zu Lungenembolien [2], extrakorporaler CPR (ECPR; [2]), Ertrinken [3] und Evidenzaktualisierungen zur Schwangerschaft [2] und Opioidtoxizität [2] veröffentlicht. Der Großteil der Evidenz stammt aus einzelnen systematischen Reviews, orientierenden Reviews und Aktualisierungen von Evidenzen. Empfehlungen werden nach Diskussion in der Autorengruppe als Expertenkonsens bereitgestellt. Wann immer ein systematischer ILCOR-

Review oder ein GRADE-ähnlicher systematischer Review der Empfehlung zugrunde liegt, wird die Empfehlungsstufe angegeben.

Es gibt keine wesentlichen Änderungen in den Leitlinien 2021 für besondere Umstände für Erwachsene. Der Schwerpunkt liegt auf der Priorisierung der Erkennung und Behandlung reversibler Ursachen bei Kreislaufstillstand aufgrund besonderer Umstände. Die Leitlinien spiegeln die zunehmende Evidenz für extrakorporale CPR (ECPR) als Managementstrategie für ausgewählte Patienten mit Kreislaufstillstand in Umgebungen wider, in denen sie implementiert werden können. Diese ERC-Leitlinie folgt europäischen und internationalen Leitlinien für Behandlungsempfehlungen (Elektrolytstörungen, Sepsis, Koronarthrombose, akzidentelle Unterkühlung und Lawinenrettung). Das Kapitel über Trauma wurde unter Einbeziehung zusätzlicher Maßnahmen zur Blutungskontrolle überarbeitet. Der Abschnitt über toxische Substanzen enthält eine umfangreiche Ergänzung, die sich auf das Management spezifischer toxischer Substanzen konzentriert. Die Prognose einer erfolgreichen Wiedererwärmung bei hypothermen Patienten folgt differenzierteren Bewertungssystemen (HOPE-Score; ICE-Score). Bei der Lawinenrettung wird der Beatmung Vorrang eingeräumt, da Hypoxie der wahrscheinlichste Grund für einen Kreislaufstillstand ist. Aufgrund der zunehmenden Anzahl von Patienten aus diesen speziellen Umgebungen wurden Empfehlungen für einen Kreislaufstillstand im Herzkatheterlabor und in der Dialyseeinheit hinzugefügt.

Diese Leitlinien wurden von den Mitgliedern der Resuscitation in Special Circumstances Writing Group entworfen und konsentiert. Die für die Leitlinienentwicklung verwendete Methodik ist in der Zusammenfassung dargestellt [4]. Die Leitlinien wurden im Oktober 2020 zur öffentlichen Kommentierung vorgestellt. Das Feedback wurde von der Schreibgruppe überprüft und die Leitlinien wurden gegebenenfalls aktualisiert. Die Leitlinie wurde der ERC-Generalversammlung am 10. Dezember 2020 vorgelegt und von dieser genehmigt.

Die Kernaussagen der Leitlinie sind in **Abb. 1** zusammengefasst.

Kurz dargestellte Leitlinien für die klinische Praxis

Besondere Ursachen

Hypoxie

- Befolgen Sie den Standard-ALS-Algorithmus, wenn Sie Patienten mit asphyktischem Kreislaufstillstand wiederbeleben.
- Behandeln Sie die Ursache der Asphyxie/Hypoxämie als höchste Priorität, da dies eine potenziell reversible Ursache für den Kreislaufstillstand ist.
- Eine effektive Beatmung mit der höchstmöglichen inspiratorischen Sauerstoffkonzentration hat bei Patienten mit asphyktischem Kreislaufstillstand Priorität.

Hypovolämie

Traumatisch bedingter Kreislaufstillstand (TCA).

- Die Wiederbelebung bei TCA soll sich auf die sofortige und gleichzeitige Behandlung reversibler Ursachen konzentrieren.
- Die Reaktion auf TCA ist zeitkritisch und der Erfolg hängt von einer gut etablierten Überlebenskette ab, einschließlich einer gezielten präklinischen Versorgung und einer Weiterversorgung in einem Traumazentrum.
- TCA (hypovolämischer Schock, obstruktiver Schock, neurogener Schock) unterscheidet sich vom Kreislaufstillstand aus internistischen Gründen; dies spiegelt sich im Behandlungsalgorithmus wider (**Abb. 2**).
- Verwenden Sie Ultraschall zur Identifikation der zugrundeliegenden Ursache für den Kreislaufstillstand und zur Einleitung gezielter Wiederbelebensmaßnahmen.
- Die gleichzeitige Behandlung reversibler Ursachen hat Vorrang vor Thoraxkompression. Die Thoraxkompression darf die Behandlung reversibler Ursachen bei TCA nicht verzögern.

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:447–523 <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00891-z>
© European Resuscitation Council (ERC), German Resuscitation Council (GRC), Austrian Resuscitation Council (ARC) 2021

C. Lott · A. Truhlář · A. Alfonso · A. Barelli · V. González-Salvado · J. Hinkelbein · J. P. Nolan · P. Paal · G. D. Perkins · K.-C. Thies · J. Yeung · D. A. Zideman · J. Soar

Kreislaufstillstand unter besonderen Umständen. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Zusammenfassung

Diese Leitlinien des European Resuscitation Council (ERC) für den Kreislaufstillstand unter besonderen Umständen basieren auf dem 2020 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations. Dieses Kapitel enthält Leitlinien zu den Modifikationen der lebensrettenden Basismaßnahmen und erweiterten lebensrettenden Maßnahmen zur Vorbeugung und Behandlung von Kreislaufstillständen unter besonderen Umständen; insbesondere spezielle Ursachen (Hypoxie, Trauma, Anaphylaxie, Sepsis, Hypo-/Hyperkaliämie und andere Elektrolytstörungen, Hypothermie, Lawinengeschehen, Hyperthermie und maligne Hyperthermie, Lungenembolie, Koronar thrombose,

Herzbeutel tamponade, Spannungspneumothorax, Giftstoffe), spezielle Umstände (Operationssaal, Herzchirurgie, Herzkatheterlabor, Dialyseeinheit, Zahnkliniken, Transport während des Flugs, Kreuzfahrtschiffe, Sport, Ertrinken, Großschadensereignisse) und spezielle Patientengruppen (Asthma und chronisch obstruktive Lungenerkrankung, neurologische Erkrankungen, krankhafte Adipositas, Schwangerschaft).

Schlüsselwörter

Reversible Ursachen · Modifikationen der lebensrettenden Maßnahmen · Spezielle Ursachen · Spezielles Umfeld · Spezielle Patientengruppen

Cardiac arrest under special circumstances . European Resuscitation Council Guidelines 2021

Abstract

These guidelines of the European Resuscitation Council (ERC) Cardiac Arrest under Special Circumstances are based on the 2020 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations. This section provides guidelines on the modifications required for basic and advanced life support for the prevention and treatment of cardiac arrest under special circumstances; in particular, specific causes (hypoxia, trauma, anaphylaxis, sepsis, hypo-/hyperkalaemia and other electrolyte disorders, hypothermia, avalanche, hyperthermia and malignant hyperthermia, pulmonary embolism, coronary thrombosis,

cardiac tamponade, tension pneumothorax, toxic agents), specific settings (operating room, cardiac surgery, cardiac catheterization laboratory, dialysis unit, dental clinics, transportation [in-flight, cruise ships], sport, drowning, mass casualty incidents), and specific patient groups (asthma and chronic obstructive pulmonary disease, neurological disease, morbid obesity, pregnancy).

Keywords

Reversible causes · Modifications of life support · Special causes · Special settings · Special patient groups

- Kontrollieren Sie Blutungen mit äußerem Druck, hämostatischer Gaze, Tourniquets und Beckenschlinge.
- „Komprimieren Sie kein leeres Herz“.
- Die resuscitative Thorakotomie (RT) spielt eine Rolle bei TCA und traumatischer Periarrestsituation.

Anaphylaxie.

- Erkennen Sie eine Anaphylaxie anhand von Atemwegsproblemen (Schwellung), Atemproblemen (Keu-

chen oder anhaltender Husten) oder Kreislaufproblemen (Hypotonie) mit oder ohne Haut- und Schleimhautveränderungen. Dies kann im Zusammenhang mit einem bekannten Auslöser bei einem Patienten mit einer Allergie oder einem Verdacht auf Anaphylaxie bei einem Patienten ohne Allergie in der Anamnese geschehen.

- Rufen Sie frühzeitig um Hilfe.

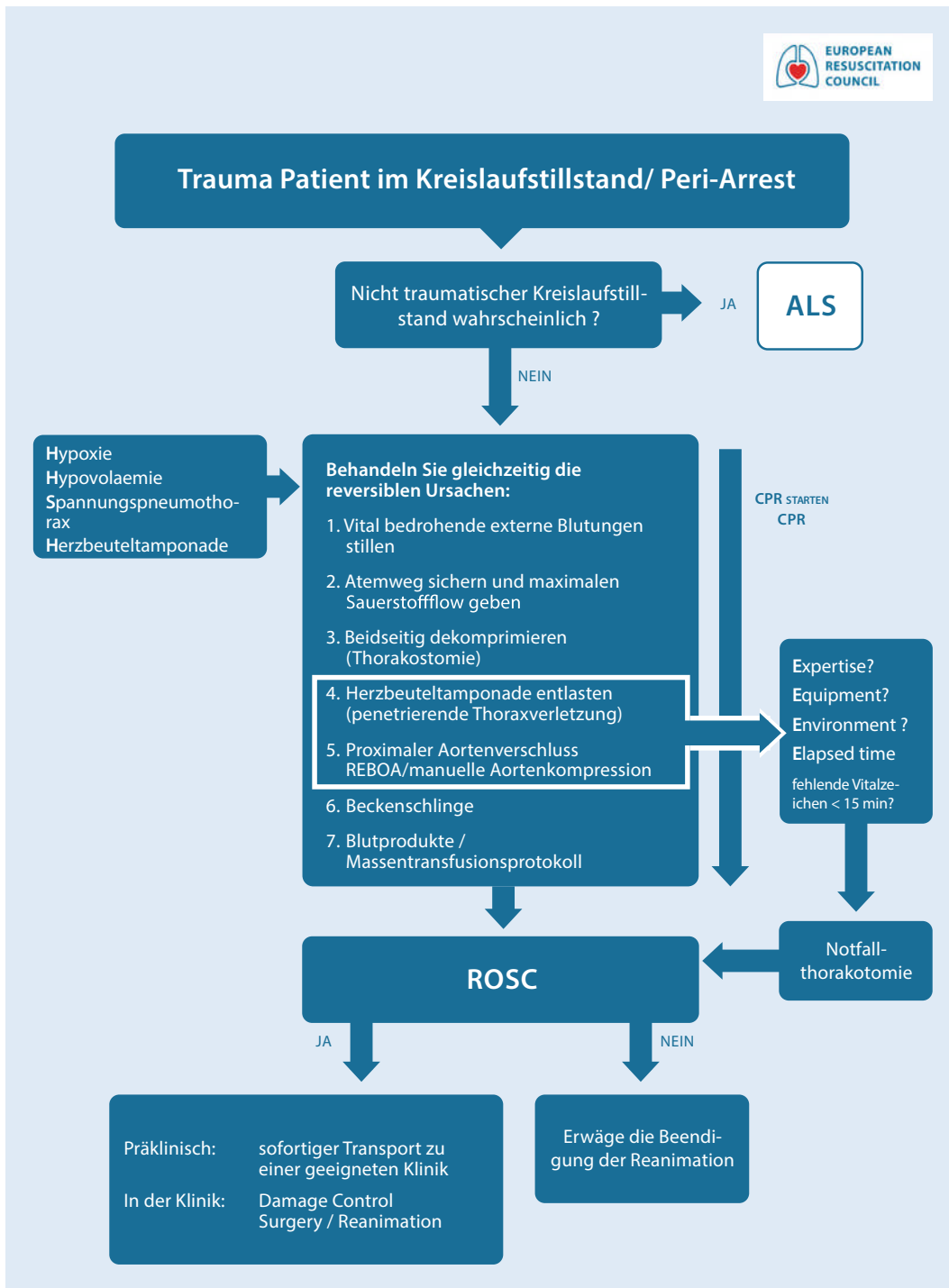


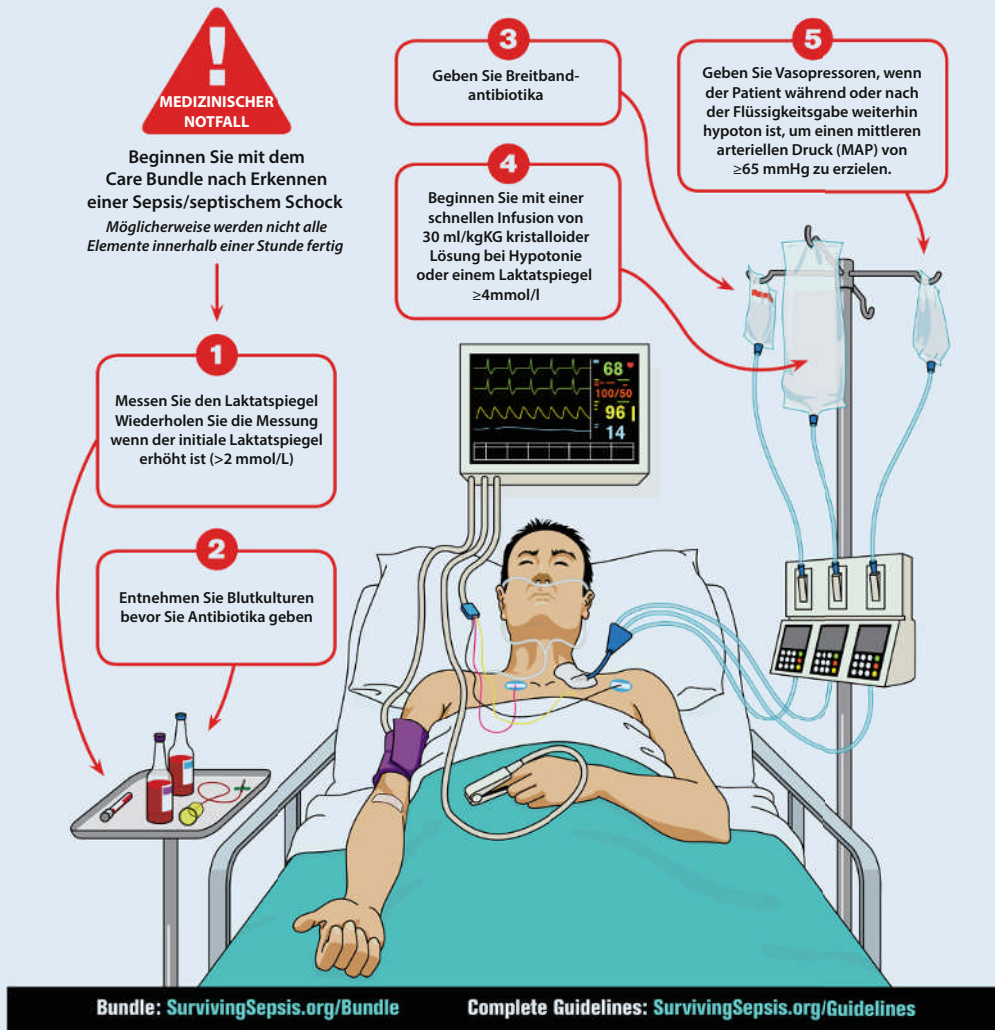
Abb. 2 ◀ Algorithmus für traumatisch bedingten Kreislaufstillstand

- Entfernen oder stoppen Sie den Auslöser, wenn möglich.
- Geben Sie intramuskulär (i.m.) Adrenalin (0,5 mg; das sind 0,5 ml einer 1 mg in 1 ml Ampulle Adrenalin) in den anterolateralen Oberschenkel, sobald der Verdacht auf Anaphylaxie besteht. Wiederholen Sie das i.m. Adrenalin, wenn sich der Zustand des Patienten nach etwa 5 min nicht verbessert.
- Stellen Sie sicher, dass der Patient liegt und setzen oder stellen Sie den Patienten nicht plötzlich auf.
- Verwenden Sie einen ABCDE-Ansatz und behandeln Sie Probleme frühzeitig (Sauerstoff, Volumen, Überwachung).
- Geben Sie frühzeitig einen intravenösen (i.v.) kristalloiden Flüssigkeitsbolus und überwachen Sie die Reaktion – möglicherweise sind große Flüssigkeitsmengen erforderlich.
- Erwägen Sie i.v. Adrenalin als Bolus (20–50 µg) oder Infusion zur therapierefraktären Anaphylaxie oder in

„Hour-1 Bundle“

Initiale Versorgung bei Sepsis und septischem Schock

Surviving Sepsis Campaign



© 2019 the Society of Critical Care Medicine and the European Society of Intensive Care Medicine. All Rights Reserved.

Society of Critical Care Medicine

ESICM

Abb. 3 ◀ „Surviving Sepsis Guidelines Hour-1 Paket“ (Veröffentlichung mit Genehmigung der Society of Critical Care Medicine, 500 Midway Drive, Mount Prospect, IL 60056-5811 USA, www.sccm.org)

speziellen Situationen, in denen die Möglichkeiten verfügbar sind.

- Erwägen Sie alternative Vasopressoren (Vasopressin, Noradrenalin, Metaminol, Phenylephrin) bei der therapierefraktären Anaphylaxie.
- Erwägen Sie i.v. Glukagon bei Patienten, die Betablocker einnehmen.
- Beginnen Sie mit Thoraxkompression und ALS, sobald ein Kreislaufstillstand vermutet wird, und befolgen Sie die Standardleitlinien.
- Erwägen Sie ECLS oder ECPR für Patienten in einer Periarrestsituation

oder mit Kreislaufstillstand als Rescue-Therapie in Situationen, in denen dies möglich ist.

- Befolgen Sie die vorhandenen Leitlinien zur Untersuchung und Nachsorge von Patienten mit Verdacht auf Anaphylaxie und bestätigter Anaphylaxie.

Sepsis

Prävention von Kreislaufstillstand bei Sepsis

- Befolgen Sie das „Surviving Sepsis Guidelines Hour-1 Bundle“ mit den

Leitlinien zur initialen Wiederbelebung bei Sepsis und septischem Schock (▣ **Abb. 3**)

Speziell:

- Laktatspiegel bestimmen.
- Entnehmen Sie Blutkulturen vor der Verabreichung von Antibiotika.
- Breitbandantibiotika verabreichen.
- Beginnen Sie mit der schnellen Zufuhr von 30 ml/kg Kristalloid bei Hypotonie oder Vorliegen eines Laktats ≥ 4 mmol L⁻¹.

- Verabreichen Sie Vasopressoren, wenn der Patient während oder nach der Flüssigkeitstherapie hypotensiv ist, um einen mittleren arteriellen Druck von ≥ 65 mm Hg aufrechtzuerhalten.

Behandlung des Kreislaufstillstands aufgrund einer Sepsis

- Befolgen Sie die Standard-ALS-Leitlinien, einschließlich der Zufuhr der maximal möglichen inspiratorischen Sauerstoffkonzentration.
- Intubieren Sie endotracheal, wenn Sie in der Lage sind, dies sicher durchzuführen.
- Intravenöse Flüssigkeitszufuhr (Kristalloid) mit initialem Bolus von 500 ml. Erwägen Sie die Gabe weiterer Boli.
- Venenpunktion für venöses Blutgas/Laktat/Elektrolyte.
- Ermitteln und kontrollieren Sie den Fokus der Sepsis, wenn möglich, und geben Sie frühzeitig Antibiotika.

Hypo-/Hyperkaliämie und andere Elektrolytstörungen

Erkennung.

- Erwägen Sie das Vorliegen einer Hyperkaliämie oder Hypokaliämie bei allen Patienten mit Arrhythmie oder Kreislaufstillstand.
- Überprüfen Sie die Möglichkeit einer Hyperkaliämie mithilfe von Point-of-Care-Tests, falls verfügbar.
- Das EKG ist möglicherweise das am raschesten verfügbare Diagnosewerkzeug.

Behandlung von Hyperkaliämie.

(Abb. 4)

- Schützen Sie das Herz.
- Verschieben Sie Kalium nach intrazellulär.
- Entfernen Sie Kalium aus dem Körper.
 - Erwägen Sie die Einleitung einer Dialyse während CPR bei therapierefraktärem hyperkaliämischem Kreislaufstillstand.
 - Erwägen Sie eine ECPR.
- Überwachen Sie die Kalium- und Glukosespiegel im Serum.
- Verhindern Sie das Wiederauftreten einer Hyperkaliämie.

Patient ohne Kreislaufstillstand

Beurteilen Sie den Patienten:

- Verwenden Sie den ABCDE-Ansatz und korrigieren Sie alle Anomalien. Etablieren Sie einen i.v. Zugang.
- Überprüfen Sie den Serum- K^+ -Spiegel – verwenden Sie, falls verfügbar, einen Blutgasanalysator und senden Sie eine Blutprobe an das Labor.
- Schreiben Sie ein EKG – suchen Sie nach Anzeichen einer Hyperkaliämie.
- Herzüberwachung – wenn das Serum- $K^+ \geq 6,5$ mmol/l ist oder wenn sich der Patient akut unwohl fühlt.

Folgen Sie dem Hyperkaliämiealgorithmus, der sich an der Schwere der Hyperkaliämie und den EKG-Veränderungen orientiert.

Mäßige Hyperkaliämie (Serum- $K^+ 6,0-6,4$ mmol/l)

- Verschieben Sie K^+ nach intrazellulär: Geben Sie 10 IE kurzwirkendes Insulin und 25 g Glukose (250 ml Glukose 10%) i.v. über 15–30 min (Wirkungsbeginn in 15–30 min; maximale Wirkung 30–60 min; Wirkdauer 4–6 h; Blutzuckermessung). Führen Sie bei Patienten mit einem Blutglukosespiegel 7 mmol/l = 126 mg/dl vor der Behandlung 5 h lang eine Therapie mit 10%iger Glukoseinfusion mit 50 ml/h durch.
- Eliminieren Sie K^+ aus dem Körper: Erwägen Sie die orale Verabreichung eines Kaliumbindemittels, z. B. Natrium-Zirkonium-Zyklosilikat (SZC) oder eines Kationenaustauscherharzes, z. B. Patiromer oder Kalzium-Resonium, gemäß lokaler Praxis.

Schwere Hyperkaliämie (Serum $K^+ \geq 6,5$ mmol/l) ohne EKG-Veränderungen

- Suchen Sie frühzeitig Hilfe von Experten.
- Verschieben Sie K^+ nach intrazellulär: Geben Sie eine Insulin/Glukose-Infusion (wie oben).
- Verschieben Sie K^+ nach intrazellulär: Vernebeln Sie Salbutamol 10–20 mg (Wirkungsbeginn 15–30 min; Wirkdauer 4–6 h).
- Eliminieren Sie K^+ aus dem Körper: Geben Sie SZC (Wirkungsbeginn in 60 min) oder Patiromer (Wirkungs-

beginn in 4–7 h) und erwägen Sie eine Dialyse.

Schwere Hyperkaliämie (Serum $K^+ \geq 6,5$ mmol/l) mit pathologischen EKG-Veränderungen

- Suchen Sie frühzeitig Hilfe von Experten.
- Schützen Sie das Herz: Geben Sie 10 ml Kalziumchlorid 10% i.v. über 2–5 min (Wirkungsbeginn 1–3 min, EKG wiederholen, weitere Dosis, wenn die pathologischen EKG-Veränderungen fortbestehen).
- Verschieben Sie K^+ nach intrazellulär: Geben Sie eine Insulin/Glukose-Infusion (wie oben).
- Verschieben Sie K^+ nach intrazellulär: Vernebeln Sie Salbutamol 10–20 mg (wie oben).
- Entfernen Sie K^+ aus dem Körper: Geben Sie SZC oder Patiromer (siehe oben) und erwägen Sie die Dialyse zu Beginn oder wenn auf eine medizinische Behandlung nicht angesprochen wird.

Patient mit Kreislaufstillstand

- Bestätigen Sie die Hyperkaliämie mit einem Blutgasanalysegerät, falls verfügbar.
- Schützen Sie das Herz: Geben Sie 10 ml Kalziumchlorid 10% i.v. durch schnelle Bolusinjektion. Erwägen Sie, die Dosis zu wiederholen, wenn der Kreislaufstillstand therapierefraktär ist oder länger anhält.
- Verschieben Sie K^+ nach intrazellulär: Injizieren Sie rasch 10 Einheiten lösliches Insulin und 25 g Glukose i.v. Überwachen Sie den Blutzucker. Verabreichen Sie eine 10%ige Glukoseinfusion unter Blutzuckermonitoring, um eine Hypoglykämie zu vermeiden.
- Verschieben Sie K^+ nach intrazellulär: Injizieren Sie rasch 50 mmol Natriumbikarbonat i.v. (50 ml 8,4%ige Lösung).
- Eliminieren Sie K^+ aus dem Körper: Erwägen Sie die Dialyse für einen therapierefraktären hyperkaliämischen Kreislaufstillstand.
- Erwägen Sie die Verwendung eines mechanischen Thoraxkompressi-

- Beurteilung nach dem ABCDE Konzept
- Führen Sie ein 12-Kanal-EKG durch und monitoren Sie den Herzrhythmus, wenn der Serumkalium-Spiegel (K^+) ≥ 6.5 mmol/L ist
- Schließen Sie eine Pseudohyperkaliämie aus
- Beginnen Sie mit einer empirischen Therapie bei Verdacht auf eine Hyperkaliämie

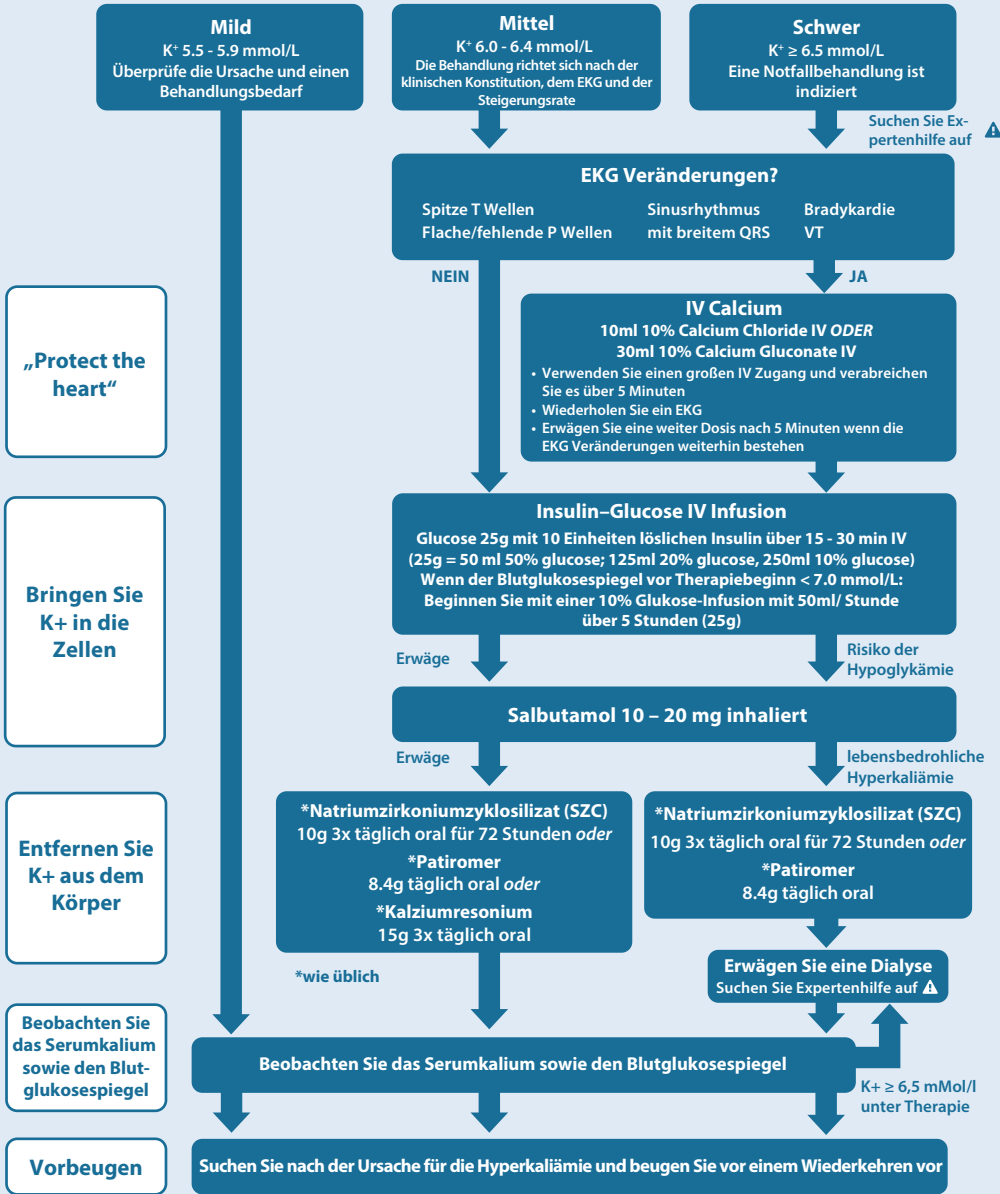


Abb. 4 ◀ Behandlungsalgorithmus zur Behandlung von Hyperkaliämie bei Erwachsenen (angepasst an die Hyperkaliämie-Leitlinie 2020 der britischen Renal Association <https://renal.org/treatment-acute-hyperkalaemia-adults-updated-guideline-released/>)

onsgeräts, wenn eine längere HLW erforderlich ist.

- Erwägen Sie ECLS oder ECPR für Patienten in einer Periarrestsituation oder mit Kreislaufstillstand als

Rescue-Therapie in Situationen, in denen dies möglich ist.

Behandlung von Hypokaliämie.

- Stellen Sie einen normalen Kaliumspiegel wieder her (Geschwindigkeit

und Zufuhrweg des Ersatzes richten sich nach der klinischen Dringlichkeit).

- Überprüfen Sie, ob potenziell exazerbierende Faktoren vorliegen

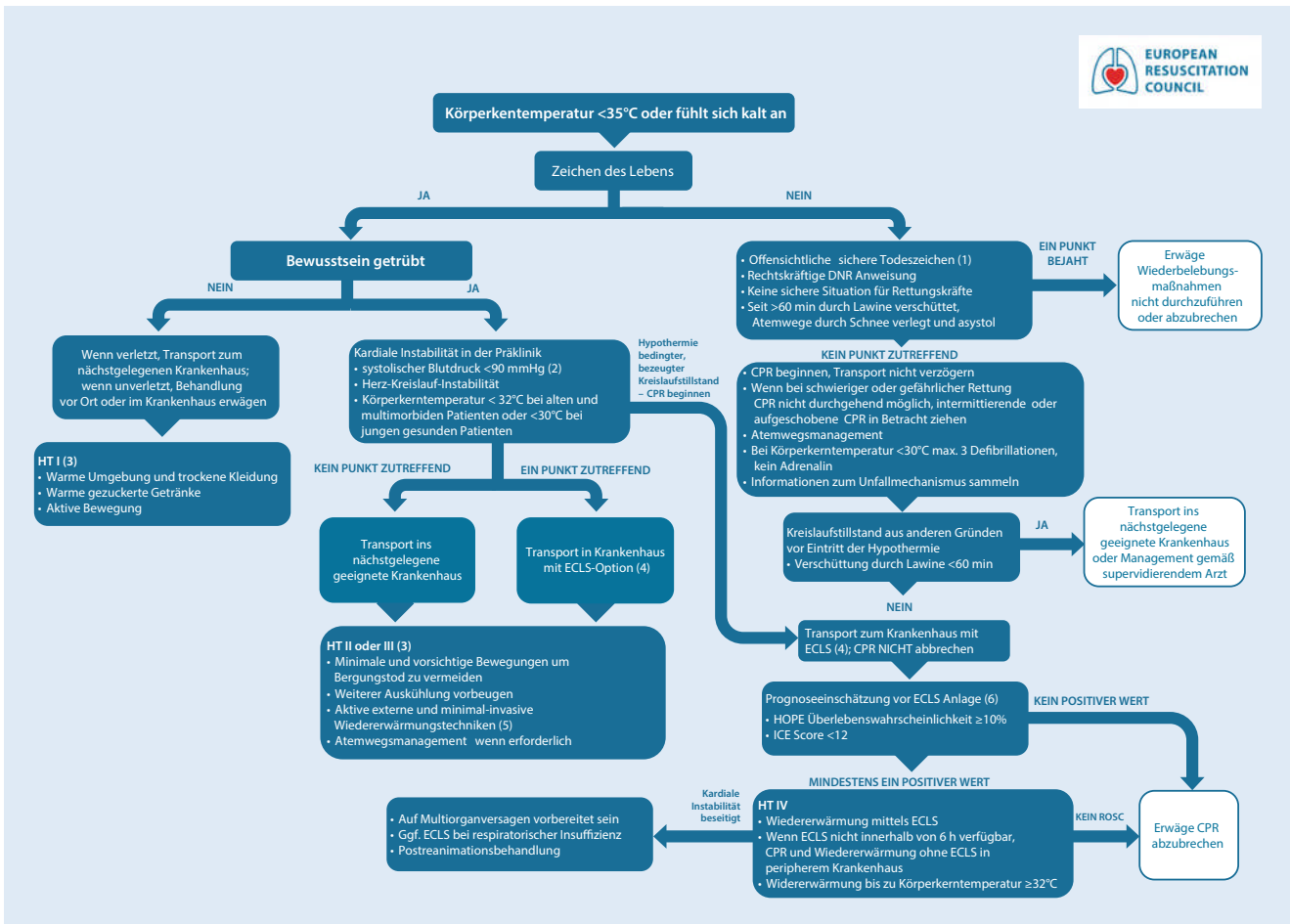


Abb. 5 ▲ Management bei akzidenteller Unterkühlung [5, 6]. (1) Dekapitation; Durchtrennung des Körperstamms; ganzer Körper zersetzt oder ganzer Körper festgefroren (Brustwand nicht komprimierbar; [7]). (2) SBP < 90 mm Hg ist eine sinnvolle präklinische Einschätzung einer kardiozirkulatorischen Instabilität, aber für innenklinische Entscheidungen sind minimal notwendige Kreislaufparameter für einen stark unterkühlten Patienten (z. B. < 28 °C) nicht definiert. (3) Schweizer Einteilung einer akzidentellen Unterkühlung. (4) Bei einem hypothermen Patienten mit Kreislaufstillstand wird der direkte Transport in ein ECMO-Zentrum empfohlen. In abgelegenen Gebieten sollen Transportentscheidungen das Risiko einer längeren Transportzeit mit dem potenziellen Nutzen einer Behandlung in einem ECLS-Zentrum (z. B. 6 h) in Einklang bringen. (5) Warme Umgebung, chemische, elektrische oder Forced-air-Heizpackungen oder -decken und warme intravenöse Flüssigkeiten (38–42 °C). Im Fall einer therapierefraktären Kreislaufunstabiltät soll eine Wiedererwärmung mit ECLS in Betracht gezogen werden. (6) Wenn die Entscheidung getroffen wird, unterwegs an einem Krankenhaus anzuhalten, um das Serumkalium zu messen, soll ein Krankenhaus auf dem Weg zu einem ECLS-Zentrum ausgewählt werden. HOPE- und ICE-Scores sollen nicht bei Kindern verwendet werden; stattdessen sollen Experten konsultiert werden. CPR kardiopulmonale Wiederbelebung; DNR „do not resuscitate“; extrakorporale ECLS Lebenserhaltung; HT Hypothermie; MD Arzt, ROSC Rückkehr der Spontanzirkulation; SBP systolischer Blutdruck

(z. B. Digoxintoxizität, Hypomagnesiämie).

- Überwachen Sie das Serum K⁺ (passen Sie den Ersatz dem Bedarf an).
- Wiederauftreten verhindern (Ursache beurteilen und beseitigen).

Hypothermie

Akzidentelle Unterkühlung.

- Beurteilen Sie die Kerntemperatur mit einem geeigneten Thermometer

(niedrige Temperaturwerte anzeigbar), tympanische Temperatur bei Spontanatmung, Ösophagustemperatur bei Patienten mit Endotrachealtubus oder supraglottischem Atemweg mit Ösophaguszugang (■ Abb. 5).

- Überprüfen Sie bis zu einer Minute lang, ob Vitalfunktionen vorhanden sind.
- Präklinischer Wärmeerhalt, Triage, schneller Transport in ein Kranken-

haus und Wiedererwärmung sind Schlüsselinterventionen.

- Hypotherme Patienten mit Risikofaktoren für einen bevorstehenden Kreislaufstillstand (d. h. Kerntemperatur < 30 °C, ventrikuläre Arrhythmie, systolischer Blutdruck < 90 mm Hg) und Patienten mit Kreislaufstillstand sollen idealerweise direkt in ein Zentrum für extrakorporalen Life Support (ECLS)

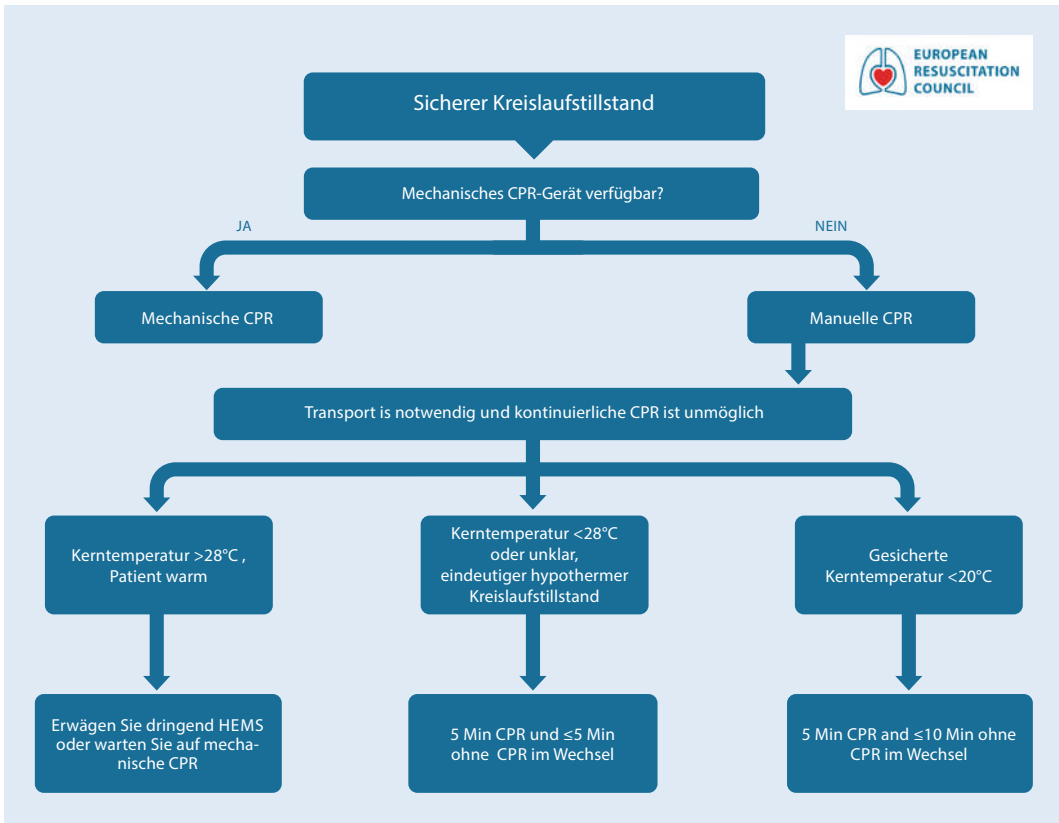


Abb. 6 ◀ Verzögerte und intermittierende CPR bei hypothermen Patienten falls eine ununterbrochene CPR wegen gefährlicher oder schwieriger Rettung nicht möglich ist [190, 193]

zur Wiedererwärmung überführt werden.

- Patienten mit hypothermem Kreislaufstillstand sollen während des Transports eine kontinuierliche CPR erhalten.
- Die Thoraxkompressions- und Beatmungsratesoll wie bei Reanimation normothermer Patienten sein.
- Wenn Kammerflimmern (VF) nach drei Schocks anhält, sollen weitere Versuche erst bei einer Kerntemperatur > 30 °C vorgenommen werden.
- Bei einer Kerntemperatur < 30 °C soll kein Adrenalin gegeben werden.
- Bei einer Kerntemperatur > 30 °C sollen die Verabreichungsintervalle für Adrenalin auf 6–10 min verlängert werden.
- Wenn ein längerer Transport erforderlich oder das Gelände schwierig ist, wird die Verwendung eines mechanischen HLW-Geräts empfohlen.
- Bei hypothermen Patienten < 28 °C mit Kreislaufstillstand kann die CPR verzögert begonnen werden, wenn die CPR vor Ort zu gefährlich oder nicht durchführbar ist. Eine intermittierende CPR kann eingesetzt

werden, wenn kontinuierliche CPR nicht möglich ist (▣ **Abb. 6**).

- Die Prognosestellung nach erfolgreicher Wiedererwärmung im Krankenhaus soll auf dem HOPE- oder dem ICE-Score basieren. Die konventionelle Serum-K⁺-Bestimmung im Krankenhaus ist weniger zuverlässig.
- Bei hypothermem Kreislaufstillstand soll eine Wiedererwärmung mit ECLS durchgeführt werden, vorzugsweise mit extrakorporaler Membranoxygenierung (ECMO) über kardiopulmonalen Bypass (CPB).
- Eine Nicht-ECLS-Wiedererwärmung soll in einem peripheren Krankenhaus eingeleitet werden, wenn ein ECLS-Zentrum nicht innerhalb von Stunden (z. B. 6h) erreicht werden kann.

Lawinenrettung.

- Beginnen Sie mit fünf Beatmungen bei Kreislaufstillstand, da Hypoxie die wahrscheinlichste Ursache für Kreislaufstillstand ist (▣ **Abb. 7**).

- Führen Sie eine Standard-ALS durch, wenn die Zeit des Verschüttetseins < 60 min ist.
- Bereitstellung vollständiger Wiederbelebungsmaßnahmen, einschließlich ECLS-Wiedererwärmung, für Lawinopfer mit einer Verschüttungsdauer von > 60 min ohne Zeichen einer Atemwegsverlegung oder zusätzlicher nicht mit dem Leben vereinbarer Verletzungen.
- Betrachten Sie CPR-Maßnahmen bei einem Kreislaufstillstand mit einer Verschüttungszeit von > 60 min und zusätzlichen Hinweisen auf eine Atemwegsverlegung als sinnlos.
- Die Prognose nach einer erfolgreichen Wiedererwärmung im Krankenhaus soll auf dem HOPE-Score basieren. Die traditionelle Triage mittels Serumkalium und Kerntemperatur (Grenzwerte 7 mmol/l bzw. 30 °C) ist weniger zuverlässig.

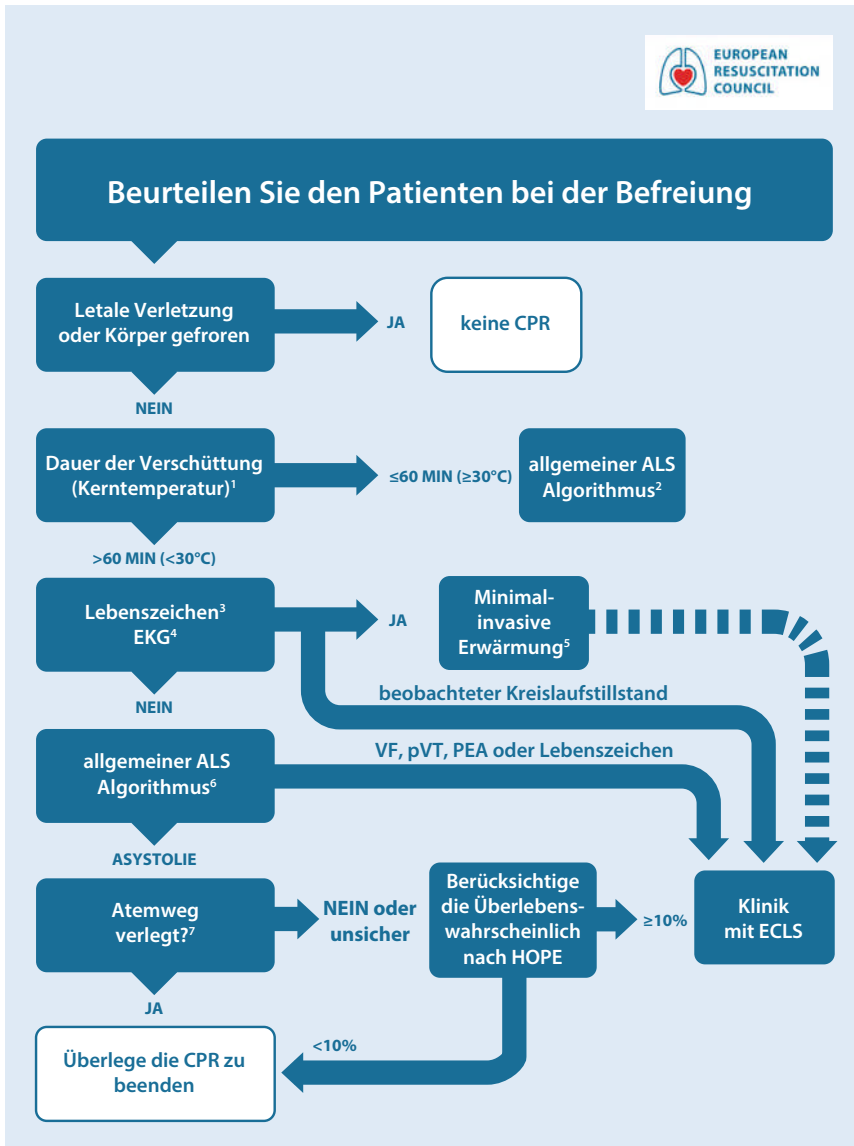


Abb. 7 ▲ Algorithmus für die Behandlung von Lawinenofern. Management von vollständig verschütteten Opfern

Hyperthermie und maligne Hyperthermie

- Die Messung der Kerntemperatur soll verfügbar sein, um die Behandlung zu steuern.
- Hitzesynkope – Patienten in eine kühle Umgebung bringen, passiv abkühlen und oral isotone oder hypertone Flüssigkeiten bereitstellen (Abb. 8).
- Hitzeerschöpfung – Patienten in eine kühle Umgebung bringen, flach hinlegen, isotone oder hypertone i.v. Flüssigkeiten verabreichen, zusätzliche Elektrolytersatztherapie

- mit isotonen Flüssigkeiten in Betracht ziehen. Der Ersatz von 1 bis 2l Kristalloiden mit 500 ml/h ist oft ausreichend.
- Einfache externe Kühlmaßnahmen sind normalerweise nicht erforderlich, können jedoch leitende, konvektive und verdampfende Maßnahmen umfassen (siehe Kapitel 8 Erste Hilfe).
- Hitzschlag – Ein Cool-and-Run-Ansatz wird empfohlen:
 - Bringen Sie den Patienten in eine kühle Umgebung.
 - Legen Sie den Patienten flach hin.

- Sofort aktiv mit Wasser (vom Hals abwärts) Wasserimmersionstechnik (1–26 °C) bis zur Kerntemperatur < 39 °C abkühlen lassen.
- Wenn ein Eintauchen in Wasser nicht möglich ist, verwenden Sie sofort irgendeine aktive oder passive Technik, die die schnellste Abkühlgeschwindigkeit bietet.
- Verabreichen Sie isotone oder hypertone i.v. Flüssigkeiten (mit Serumnatrium ≤ 130 mmol/l bis zu 3 × 100 ml NaCl 3 %).
- Erwägen Sie einen zusätzlichen Elektrolytersatz durch isotone Flüssigkeiten. Es können erhebliche Flüssigkeitsvolumina erforderlich sein.
- Bei einem Hitzschlag unter Belastung ist eine Abkühlgeschwindigkeit von mehr als 0,10 °C/min sicher und wünschenswert.
- Befolgen Sie den ABCDE-Ansatz bei jedem Patienten mit sich verschlechternden Vitalfunktionen.

Maligne Hyperthermie.

- Stoppen Sie sofort die Zufuhr von Triggersubstanzen.
- Sauerstoff bereitstellen.
- Normokapnie durch Hyperventilation anstreben.
- Erwägen Sie die Korrektur einer schweren Azidose mit Bikarbonat (1–2 mmol/kg).
- Behandeln Sie eine Hyperkaliämie (Kalzium, Glukose/Insulin, Hyperventilation; siehe Hyperkaliämieleitlinie).
- Geben Sie Dantrolen (2,5 mg/kgKG anfangs und 10 mg/kgKG nach Bedarf).
- Starten Sie die aktive Kühlung.
- Befolgen Sie den ALS-Algorithmus bei Kreislaufstillstand und kühlen Sie weiter.
- Nach Rückkehr des Spontankreislaufs (ROSC) den Patienten 48–72 h lang engmaschig überwachen, da bei 25 % der Patienten ein erneutes Ereignis auftritt.
- Wenden Sie sich an ein Experten-zentrum für maligne Hyperthermie, um Hilfe und Rat zur Weiterbehandlung zu erhalten.

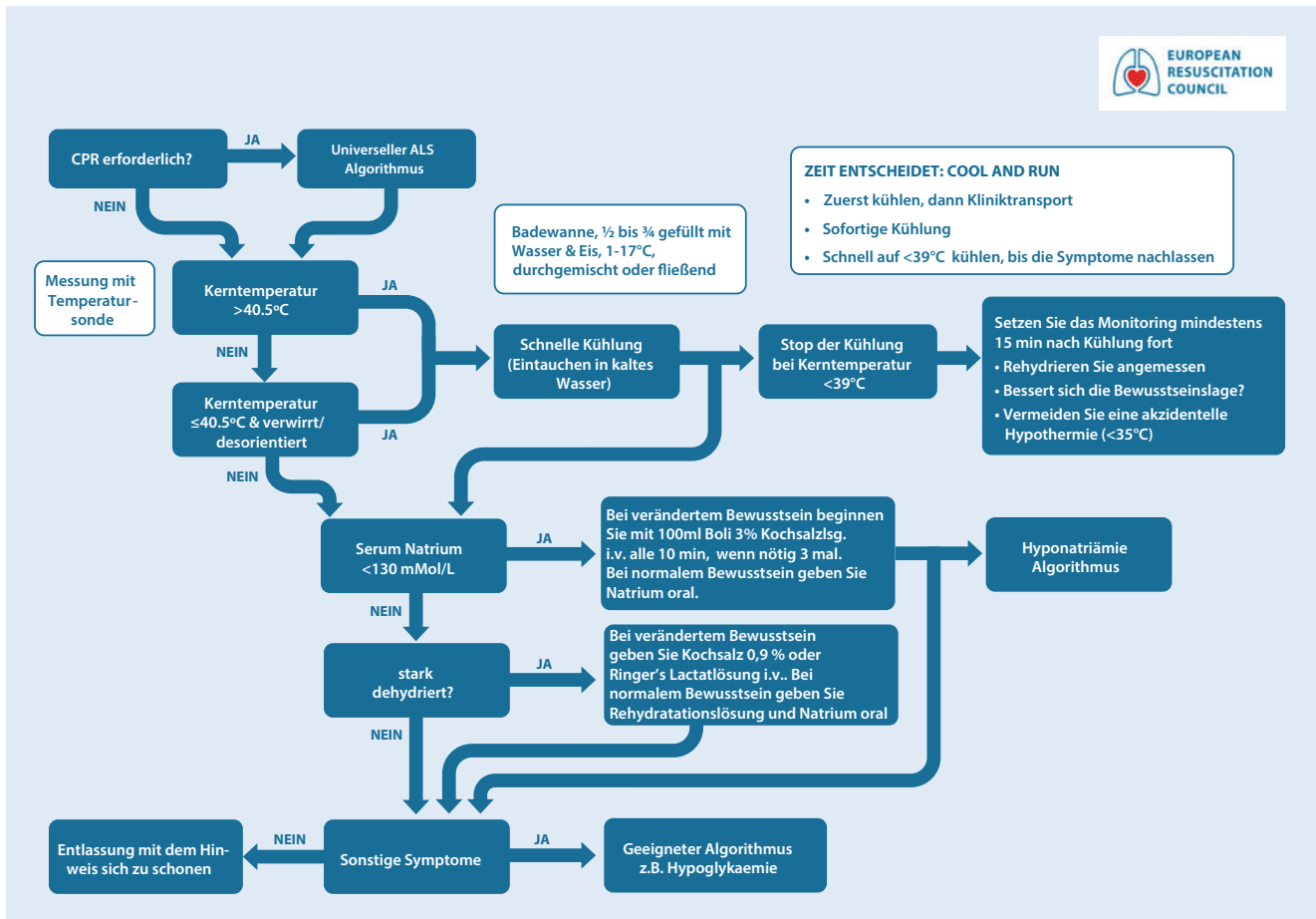


Abb. 8 ▲ Behandlung bei Hyperthermie (nach Racinais S et al. [8])

Thrombose

Lungenembolie.

Prävention von Kreislaufstillstand

- Folgen Sie dem ABCDE-Ansatz

Atemweg

- Behandeln Sie lebensbedrohliche Hypoxie mit Sauerstoffzufuhr mit hoher Flowrate.

Atmung

- Erwägen Sie das Vorliegen einer Lungenembolie (LAE) bei allen Patienten mit plötzlichem Auftreten einer fortschreitenden Dyspnoe und fehlender bekannter Lungenerkrankung (schließen Sie immer einen Pneumothorax und eine Anaphylaxie aus).

Kreislauf

- Machen Sie ein 12-Kanal-EKG (schließen Sie ein akutes Koronar-

syndrom aus, suchen Sie nach einer rechtsventrikulären Belastung).

- Erkennen Sie eine hämodynamische Instabilität und LAE mit hohem Risiko.
- Führen Sie eine Echokardiographie am Krankenbett durch.
- Leiten Sie während des Diagnoseprozesses eine Antikoagulation (Heparin 80 IE/kg i.v.) ein, außer wenn Blutungszeichen oder absolute Kontraindikationen vorhanden sind.
- Bestätigen Sie die Diagnose mit der computertomographisch gesteuerten pulmonalen Angiographie (CTPA).
- Richten Sie ein multidisziplinäres Team ein, um Entscheidungen über das Management von LAE mit hohem Risiko zu treffen (abhängig von den lokalen Ressourcen).
- Verabreichen Sie eine Rescue-Thrombolytika-Therapie bei sich schnell verschlechternden Patienten.

- Erwägen Sie eine chirurgische Embolektomie oder eine kathetergesteuerte Behandlung als Alternative zur Rescue-Thrombolytika-Therapie bei sich schnell verschlechternden Patienten.

Umgebung

- Fordern Sie Informationen zu Anamnese, prädisponierenden Faktoren und Medikamenten an, die die Diagnose einer Lungenembolie stützen können:
 - Frühere Lungenembolie oder tiefe Venenthrombose (TVT)
 - Operation oder Immobilisierung innerhalb der letzten vier Wochen
 - Aktive Krebserkrankung
 - Klinische Anzeichen einer TVT
 - Orale Kontrazeptiva oder Hormonersatztherapie
 - Langstreckenflüge



1. Vorsorge und Vorbereitung

- Kardiovaskuläre Prävention, um das Risiko akuter Ereignisse zu verringern
- Gesundheitserziehung, um die Zeit bis zum medizinischen Erstkontakt zu verkürzen
- Fördern Sie Laien BLS um die Chance für Bystander BLS zu erhöhen
- Stellen Sie angemessene Ressourcen für ein besseres Management sicher
- Verbessern Sie Qualitätsmanagementsysteme und Qualitätsüberwachung

2. Erkennen Sie Symptome, die auf eine Koronarthrombose hindeuten, und aktivieren Sie das STEMI-Netzwerk

- Brustschmerz vor dem Kreislaufstillstand
- Bekannte koronare Herzkrankheit
- Initialer Rhythmus: VF oder pVT
- ST-Hebung im 12-Kanal-EKG nach ROSC

3. Reanimieren Sie und behandeln Sie mögliche Ursachen

Anhaltender ROSC		kein anhaltender ROSC
STEMI Patienten Zeit zwischen Diagnose und PCI < 120 Min Herzkatheterlabor alarmieren Transport zur sofortigen PCI > 120 Min Präklinische Thrombolyse Transport in PCI Zentrum	NSTEMI Patienten Individualisierte Entscheidung unter Berücksichtigung von Patientenstatus, OHCA-Umfelds und EKG-Befund. nicht koronare Alternativdiagnosen? Patientenstatus prüfen Anhaltende Ischämie oder hämodynamische Instab Ja – sofortige PCI Nein – verzögerte PCI erwägen	Umfeld, Patientenstatus und verfügbaren Ressourcen bewerten Aussichtslos: CPR stoppen Nicht aussichtslos: Transport zur PCI unter laufender CPR erwägen mechanische Thoraxkompression und eCPR erwägen PCI erwägen

Abb. 9 ▲ Management des Kreislaufstillstands außerhalb des Krankenhauses bei Verdacht auf Koronarthrombose. *Beachten Sie, dass eine prolongierte oder traumatische Reanimation eine relative Kontraindikation für die Fibrinolyse darstellt. **Individuelle Entscheidung basierend auf einer sorgfältigen Bewertung des Nutzen-Risiko-Verhältnisses, der verfügbaren Ressourcen und der Teamkompetenz. OHCA Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses; STEMI ST-Strecken-Hebungs-Infarkt; ROSC Rückkehr der Spontanzirkulation; PCI perkutane Koronarintervention; CPR Herz-Lungen-Wiederbelebung

Management des Kreislaufstillstands

- Kreislaufstillstand manifestiert sich üblicherweise als PEA.
- Niedrige EtCO₂-Werte (unter 1,7 kPa/13 mm Hg) bei der Durchführung qualitativ hochwertiger Thoraxkompressionen können die Diagnose einer Lungenembolie stützen, obwohl dies ein unspezifisches Zeichen ist.
- Erwägen Sie eine von qualifiziertem Personal durchgeführte Notfall-echokardiographie als zusätzliches Diagnosewerkzeug.
- Verabreichen Sie Thrombolytika bei Kreislaufstillstand, wenn LAE die vermutete Ursache für einen Kreislaufstillstand ist.
- Wenn Thrombolytika verabreicht wurden, sollen Sie die CPR-Versuche mindestens 60–90 min lang fortsetzen, bevor Sie die Wiederbelebungsversuche beenden.
- Verwenden Sie Thrombolytika oder chirurgische Embolektomie oder die perkutane mechanische Thrombektomie bei Kreislaufstillstand, wenn eine LAE die bekannte Ursache des Kreislaufstillstands ist.
- Erwägen Sie bei Versagen der konventionellen CPR die ECPR als Rescue-Therapie für ausgewählte Patienten mit Kreislaufstillstand, wenn die Voraussetzungen vorhanden sind.

Koronarthrombose.

Beugen Sie vor und seien Sie vorbereitet (Abb. 9 und Suppl. Abb. S1):

- Förderung der kardiovaskulären Prävention, um das Risiko akuter Ereignisse zu verringern.
- Unterstützen Sie die Gesundheitserziehung, um eine Verzögerung bis zum ersten medizinischen Kontakt zu reduzieren.
- Förderung lebensrettender Basismaßnahmen durch Laien, um die Wahrscheinlichkeit einer CPR durch Notfallzeugen zu erhöhen.
- Gewährleisten Sie angemessene Ressourcen für ein besseres Management.
- Verbesserung der Qualitätsmanagementsysteme und Indikatoren für eine bessere Qualitätsüberwachung.

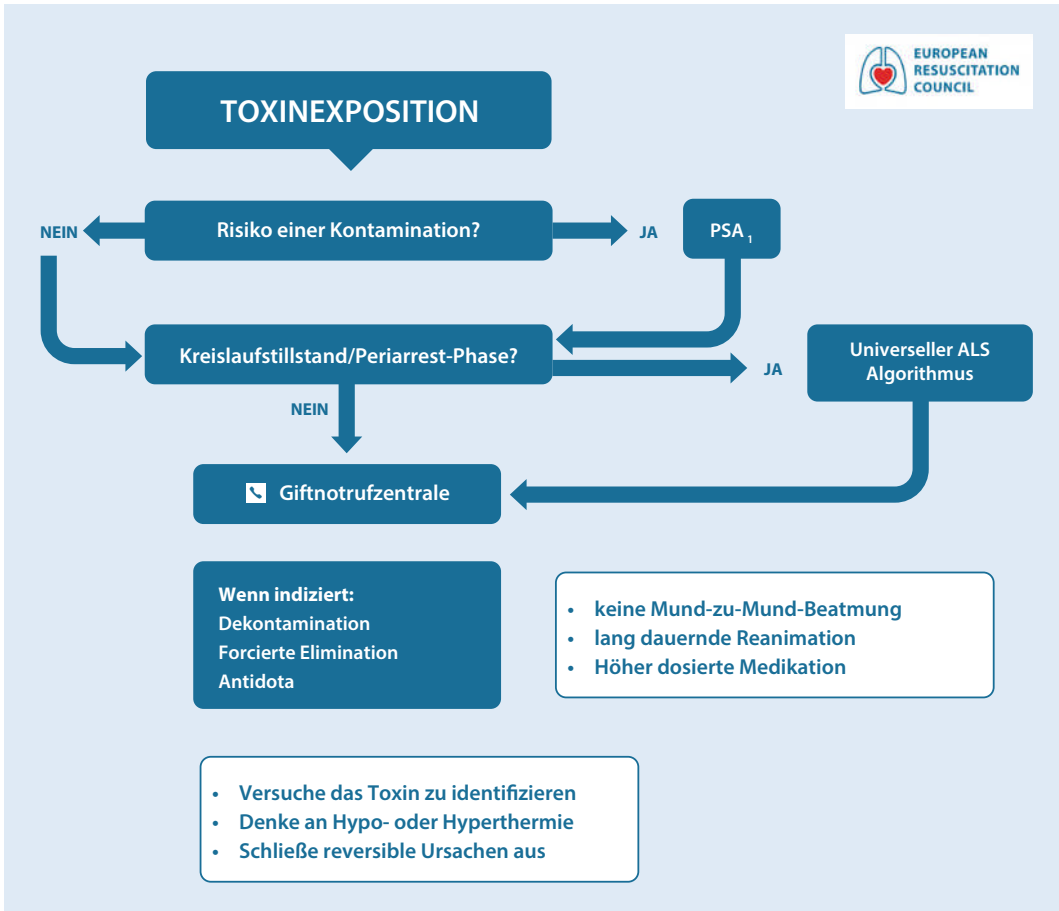


Abb. 10 ◀ Exposition gegenüber toxischen Substanzen

Erkennen Sie Parameter, die auf eine Koronarthrombose hindeuten, und aktivieren Sie das ST-Elevation-Myocardial-Infarction(STEMI)-Netzwerk (Suppl. Abb. S2):

- Brustschmerzen vor dem Kreislaufstillstand
- Bekannte koronare Herzkrankheit
- Initialer Rhythmus: VF, pulslose ventrikuläre Tachykardie (pVT)
- 12-Kanal-EKG nach Wiederbelebung mit ST-Hebungen

Wiederbelebung und Behandlung möglicher Ursachen (Reperfusionstrategie festlegen):

- Patienten mit anhaltendem ROSC
 - STEMI-Patienten:
 - Strategie der primären perkutanen Koronarintervention (PCI) ≤ 120 min nach Diagnose: Aktivieren Sie das Katheterlabor und transportieren Sie den Patienten zur sofortigen PCI.
 - Primäre PCI in ≤ 120 min nicht möglich: Führen Sie eine präkli-

nische Thrombolyse durch, und transportieren Sie den Patienten in das PCI-Zentrum (▣ **Abb. 9**).

- Nicht-STEMI-Patienten: Individualisieren Sie Entscheidungen unter Berücksichtigung der Patientencharakteristika, der OHCA-Umstände und der EKG-Befunde.
 - Erwägen Sie eine schnelle diagnostische Aufarbeitung (schließen Sie nichtkoronare Ursachen aus und überprüfen Sie den Zustand des Patienten).
 - Führen Sie eine dringende Koronarangiographie (≤ 120 min) durch, wenn der Verdacht auf eine anhaltende Myokardischämie besteht oder der Patient hämodynamisch/elektrisch instabil ist.
 - Erwägen Sie eine verzögerte Koronarangiographie, wenn kein Verdacht auf anhaltende Ischämie besteht und der Patient stabil ist.

- Patienten ohne anhaltenden ROSC: Beurteilung der Umstände und des Patientenzustands sowie der verfügbaren Ressourcen
 - Bei festgestellter Aussichtslosigkeit: CPR stoppen
 - Nicht aussichtslos: Erwägen Sie den Patiententransport in ein perkutanes Koronarinterventionszentrum (PCI) unter laufender CPR (▣ **Abb. 9**).
 - Erwägen Sie mechanische Kompression und ECPR.
 - Erwägen Sie eine Koronarangiographie.

Herzbeutelamponade

- Das Perikard sofort dekomprimieren.
- Die Point-of-Care-Echokardiographie unterstützt die Diagnose.
- Führen Sie eine Notfallthorakotomie oder eine ultraschallgeführte Perikardiozentese durch.

Spannungspneumothorax

- Die Diagnose eines Spannungspneumothorax bei einem Patienten mit Kreislaufstillstand oder hämodynamischer Instabilität muss auf einer klinischen Untersuchung oder einem Ultraschall am Behandlungsort („point of care ultrasound“, POCUS) beruhen.
- Dekomprimieren Sie die Brust sofort durch offene Thorakotomie, wenn bei Vorliegen eines Kreislaufstillstands oder einer schweren Hypotonie ein Spannungspneumothorax vermutet wird.
- Die Dekompression des Thorax mit einer Kanüle dient als schnelle Behandlung und soll mit speziellen Nadeln (länger, nicht abknickend) vorgenommen werden.
- Auf jeden Versuch einer Nadeldekompression unter CPR soll eine offene Thorakotomie oder das Einlegen einer Thoraxdrainage folgen, sofern die Expertise vorhanden ist.
- Die Thoraxdekompression behandelt wirksam den Spannungspneumothorax und hat Vorrang vor anderen Maßnahmen.

Toxische Substanzen

Prävention.

- Eine Vergiftung führt selten zu einem Kreislaufstillstand (▣ Abb. 10).
- Behandeln Sie hypertensive Notfälle mit Benzodiazepinen, Vasodilatoren und reinen Alpha-Antagonisten.
- Eine arzneimittelinduzierte Hypotonie spricht normalerweise auf i.v. Flüssigkeiten an.
- Verwenden Sie, sofern verfügbar, zusätzlich zur ALS-Behandlung von Arrhythmien spezifische Behandlungen.
- Führen Sie frühzeitiges ein erweitertes Atemwegsmanagement durch.
- Verabreichen Sie so rasch wie möglich Antidote, soweit verfügbar.

Behandlung des Kreislaufstillstands.

- Sorgen Sie niederschwellig für Ihre persönliche Sicherheit.
- Erwägen Sie die Verwendung spezifischer Behandlungsmaßnahmen wie Antidote, Dekontamination und gesteigerte Elimination.

- Verwenden Sie keine Mund-zu-Mund-Beatmung in Gegenwart von Chemikalien wie Zyanid, Schwefelwasserstoff, ätzenden Substanzen und Organophosphaten.
- Schließen Sie alle reversiblen Ursachen für einen Kreislaufstillstand aus, inklusive Elektrolytstörungen, die indirekt durch toxische Substanzen verursacht worden sein könnten.
- Messen Sie die Temperatur des Patienten, da während einer Medikamentenüberdosierung eine Hypo- oder Hyperthermie auftreten kann.
- Seien Sie bereit, die Wiederbelebung über einen längeren Zeitraum fortzusetzen. Die Toxinkonzentration kann abnehmen, wenn es während längerer Wiederbelebungsmaßnahmen metabolisiert oder ausgeschieden wird.
- Nehmen Sie Kontakt mit regionalen oder nationalen Giftzentren bezüglich Informationen zur Behandlung des intoxikierten Patienten auf.
- Erwägen Sie bei Versagen der konventionellen CPR die ECPR als Rescue-Therapie für ausgewählte Patienten mit Kreislaufstillstand, wenn die Voraussetzungen vorhanden sind.

Spezielle Umstände

Gesundheitseinrichtungen

Kreislaufstillstand im Operationsaal (OP).

- Erkennen Sie den Kreislaufstillstand durch kontinuierliches Monitoring.
- Informieren Sie den Chirurgen und das OP-Team. Rufen Sie um Hilfe und besorgen Sie einen Defibrillator.
- Beginnen Sie qualitativ hochwertige Thoraxkompressionen und effektive Beatmung.
- Folgen Sie dem ALS-Algorithmus mit einem starken Fokus auf reversiblen Ursachen, insbesondere Hypovolämie (Anaphylaxie, Blutung), Hypoxie, Spannungspneumothorax, Thrombose (Lungenembolie).
- Verwenden Sie Ultraschall, um die Wiederbelebung zu unterstützen.
- Passen Sie die Höhe des OP-Tisches an, um eine qualitativ hochwertige CPR zu ermöglichen.

- Überprüfen Sie die Atemwege und beurteilen Sie die EtCO₂-Kurve.
- Verabreichen Sie Sauerstoff mit einer FiO₂ von 1.0.
- Eine offene Herzmassage soll als wirksame Alternative zur geschlossenen Thoraxkompression angesehen werden.
- Betrachten Sie ECPR als Rettungstherapie für ausgewählte Patienten mit Kreislaufstillstand, wenn die konventionelle CPR versagt.

Herzchirurgie.

Beugen Sie vor und seien Sie vorbereitet:

- Gewährleisten Sie eine angemessene Schulung des Personals in technischen Fähigkeiten zur Wiederbelebung und ALS (▣ Abb. 11).
- Stellen Sie sicher, dass auf der Intensivstation Geräte für die Notfallsternotomie verfügbar sind.
- Verwenden Sie Sicherheitschecklisten.

Kreislaufstillstand erkennen und Kreislaufstillstandsprotokoll aktivieren:

- Identifizieren und behandeln Sie Zustandsverschlechterungen des postoperativen Herzpatienten.
- Erwägen Sie die Echokardiographie.
- Bestätigen Sie den Kreislaufstillstand durch klinische Symptome und pulslose Druckwellenformen.
- Rufen Sie um Hilfe und aktivieren Sie das Kreislaufstillstandsprotokoll.

Reanimieren und behandeln Sie mögliche Ursachen:

- Wiederbelebung gemäß ALS-MODIFIED-Algorithmus:
 - VF/pVT → Defibrillation: Wenden Sie bis zu drei aufeinanderfolgende Schocks an (< 1 min).
 - Asystolie/extreme Bradykardie → Frühzeitiges Pacing (< 1 min).
 - PEA → Korrigieren Sie potenziell reversible Ursachen. Bei Schrittmacherrhythmus deaktivieren Sie den Herzschrittmacher, um VF auszuschließen.
- → Kein ROSC:
 - Initiieren Sie Thoraxkompression und Beatmung.

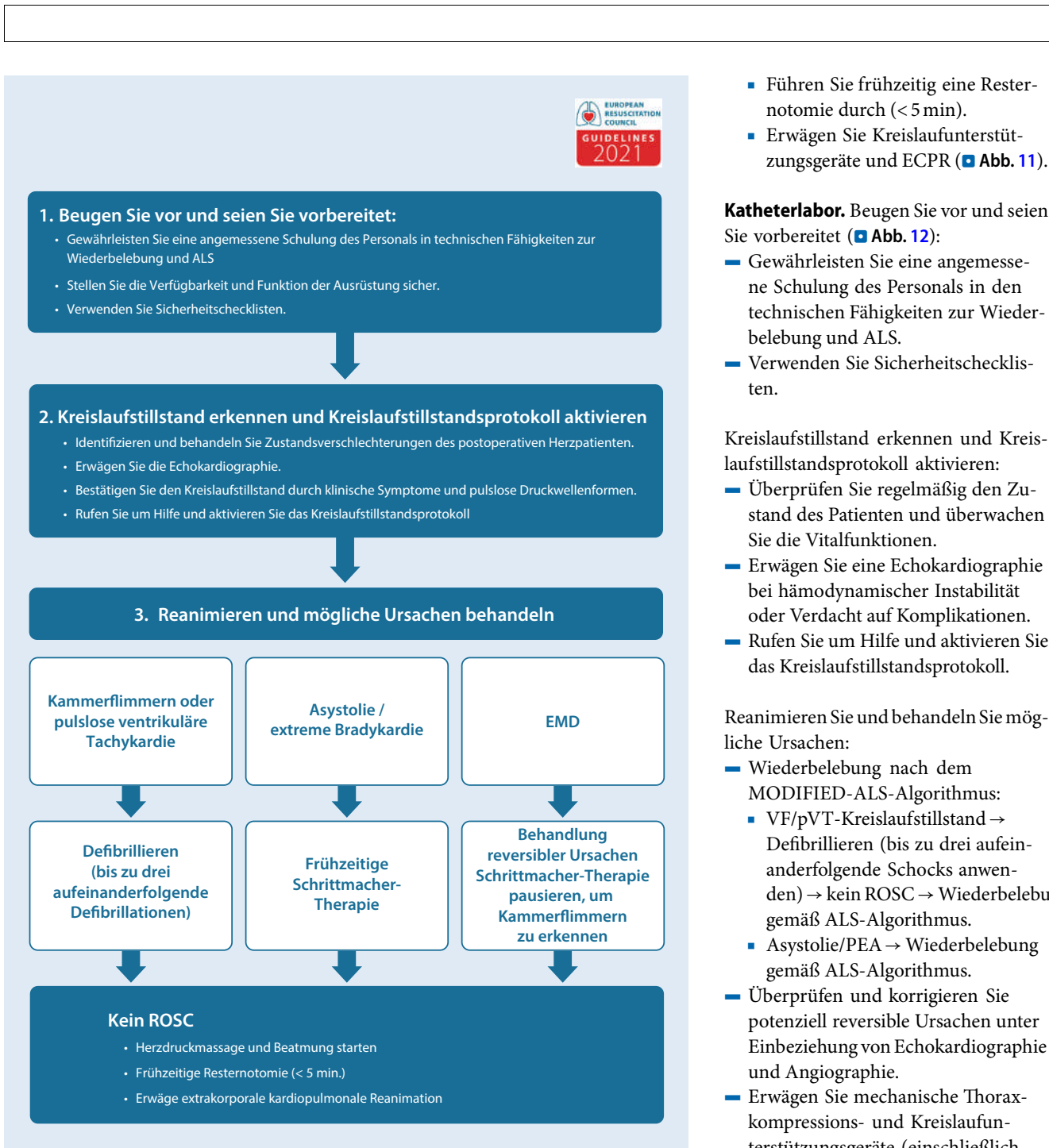


Abb. 11 ▲ Advanced-Life-Support(ALS)-Algorithmus für den postoperativen Kreislaufstillstand nach einer Herzoperation. ALS erweiterte lebensrettende Maßnahmen; VF Kammerflimmern; PVT pulslose ventrikuläre Tachykardie; CPR kardiopulmonale Wiederbelebung; ROSC Rückkehr der Spontanzirkulation; PEA pulslose elektrische Aktivität. **Erwägen Sie die IABP als Alternative zur Unterstützung der CPR oder der extrakorporalen Lebenserhaltung, wenn eine Resterotomie nicht möglich ist oder den Kreislaufstillstand nicht rückgängig macht

- Führen Sie frühzeitig eine Resterotomie durch (< 5 min).
- Erwägen Sie Kreislaufunterstützungsgeräte und ECPR (Abb. 11).

Katheterlabor. Beugen Sie vor und seien Sie vorbereitet (Abb. 12):

- Gewährleisten Sie eine angemessene Schulung des Personals in den technischen Fähigkeiten zur Wiederbelebung und ALS.
- Verwenden Sie Sicherheitschecklisten.

Kreislaufstillstand erkennen und Kreislaufstillstandsprotokoll aktivieren:

- Überprüfen Sie regelmäßig den Zustand des Patienten und überwachen Sie die Vitalfunktionen.
- Erwägen Sie eine Echokardiographie bei hämodynamischer Instabilität oder Verdacht auf Komplikationen.
- Rufen Sie um Hilfe und aktivieren Sie das Kreislaufstillstandsprotokoll.

Reanimieren Sie und behandeln Sie mögliche Ursachen:

- Wiederbelebung nach dem MODIFIED-ALS-Algorithmus:
 - VF/pVT-Kreislaufstillstand → Defibrillieren (bis zu drei aufeinanderfolgende Schocks anwenden) → kein ROSC → Wiederbelebung gemäß ALS-Algorithmus.
 - Asystolie/PEA → Wiederbelebung gemäß ALS-Algorithmus.
- Überprüfen und korrigieren Sie potenziell reversible Ursachen unter Einbeziehung von Echokardiographie und Angiographie.
- Erwägen Sie mechanische Thoraxkompressions- und Kreislaufunterstützungsgeräte (einschließlich ECPR).

Dialyseeinheit.

- Folgen Sie dem universellen ALS-Algorithmus.
- Beauftragen Sie eine ausgebildete Dialysepflegekraft mit der Bedienung des Hämodialysegeräts (HD).
- Stoppen Sie die Dialyse und geben Sie das Blut des Patienten aus dem Dialysegerät mit einem Flüssigkeitsbolus zurück.

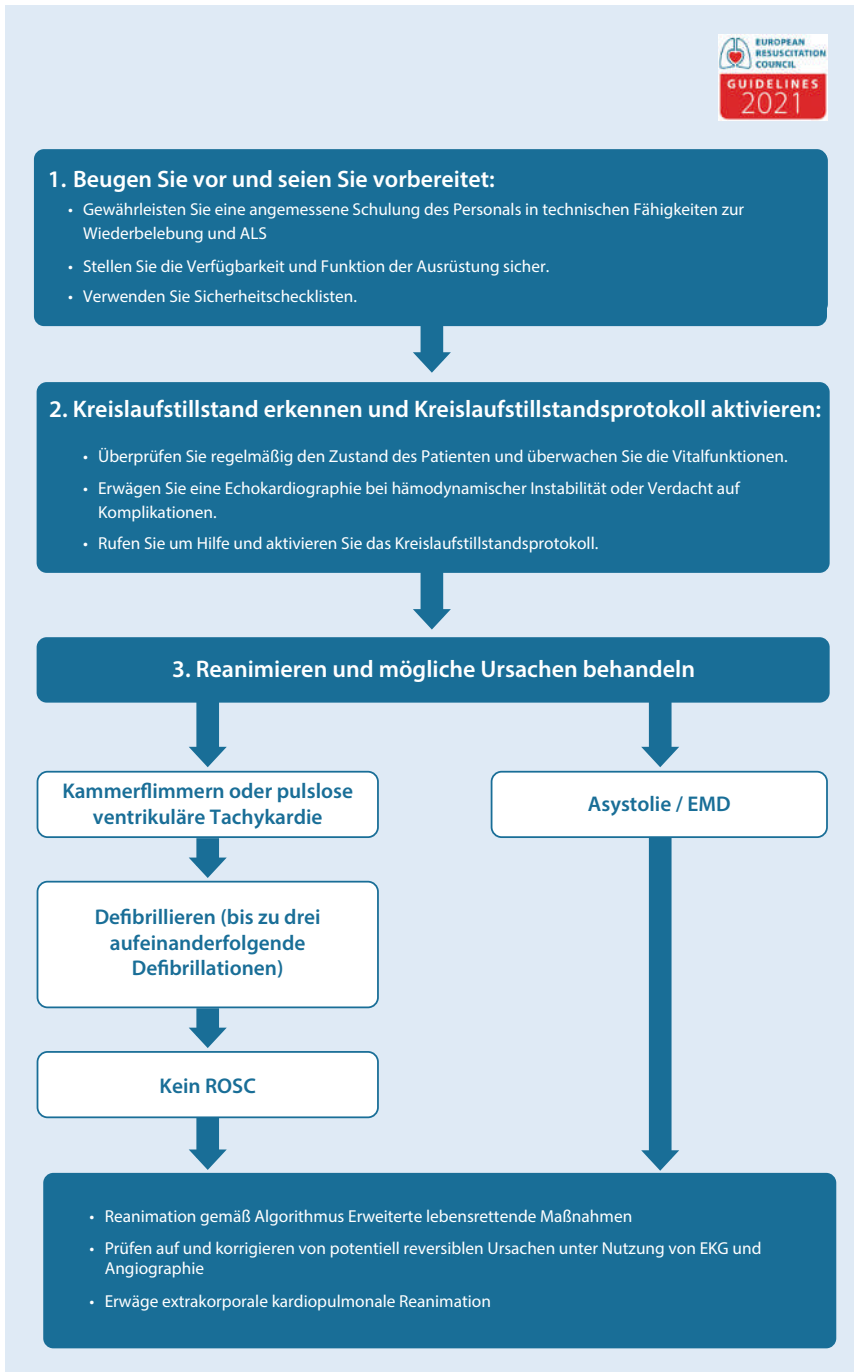


Abb. 12 ▲ Management des Kreislaufstillstands im Katheterlabor. ALS erweiterte lebensrettende Maßnahmen; VF Kammerflimmern; PVT pulslose ventrikuläre Tachykardie; CPR kardiopulmonale Wiederbelebung; ROSC Rückkehr der Spontanzirkulation; PEA pulslose elektrische Aktivität

- Diskonnektieren Sie das Dialysegerät (sofern es nicht defibrillationssicher ist) gemäß den Normen des International Electrotechnical Committee (IEC).
- Halten Sie den Zugang zur Dialyse für die Verabreichung von Medikamenten offen.
- Frühzeitig nach der Wiederbelebung kann eine Dialyse erforderlich sein.
- Sofortige Behandlung einer Hyperkaliämie.
- Vermeiden Sie übermäßige Kalium- und Volumenverschiebungen während der Dialyse.

Zahnmedizin.

- Ursachen für Kreislaufstillstand sind in der Regel vorbestehende Komorbiditäten, Komplikationen des Verfahrens oder allergische Reaktionen.
- Alle Zahnärzte sollen ein jährliches praktisches Training zur Erkennung und Bewältigung medizinischer Notfälle inklusive der Durchführung von CPR, einfachem Atemwegsmanagement und Verwendung eines AED absolvieren.
- Überprüfen Sie den Mundraum des Patienten und entfernen Sie alle festen Materialien aus der Mundhöhle (z. B. Retraktor, Saugrohr, Tamponaden). Die Verhinderung einer fremdkörperbedingten Atemwegsobstruktion soll der Lagerung vorausgehen.
- Lehnen Sie den Behandlungsstuhl in eine vollständig horizontale Position zurück. Wenn ein verringerter venöser Rückfluss oder eine Vasodilatation zu Bewusstlosigkeit geführt haben (z. B. vasovagale Synkope, orthostatische Hypotonie), kann das Herzzeitvolumen wiederhergestellt werden.
- Stellen Sie zur Stabilisierung einen Hocker unter die Rückenlehne.
- Beginnen Sie sofort mit der Thoraxkompression, sobald der Patient flach auf dem Stuhl liegt.
- Erwägen Sie die Over-the-Head-Technik der CPR, wenn der Zugang zu beiden Seiten des Thorax eingeschränkt ist.
- Die Grundausstattung für eine Standard-CPR einschließlich eines Beatmungsbeutels mit Masken soll sofort verfügbar sein.

Transport

Kreislaufstillstand während des Flugs.

- Es soll eine medizinische Hilfe in Anspruch genommen werden (Ansprache über Lautsprecher während des Flugs).
- Der Retter soll im Fußraum vor den Gangplätzen knien, um Thoraxkompressionen vorzunehmen, wenn der Patient nicht innerhalb weniger Sekunden in einen Bereich mit ausreichender Bodenfläche (Galley) gebracht werden kann.

- Overhead-CPR ist eine mögliche Option in Umgebungen mit begrenztem Raum.
- Das Atemwegsmanagement soll auf der verfügbaren Ausrüstung und dem Fachwissen des Retters basieren.
- Wenn sich der Flug während einer laufenden Wiederbelebung mit hoher ROSC-Wahrscheinlichkeit über dem Meer befindet, soll eine frühzeitige Flugumleitung erwogen werden.
- Berücksichtigen Sie die Risiken einer Flugumleitung, wenn ein ROSC unwahrscheinlich ist, und geben Sie der Flugbesatzung entsprechende Empfehlungen.
- Wenn die CPR beendet wird (kein ROSC), soll normalerweise keine Flugumleitung vorgenommen werden.

Rettungshubschrauber (HEMS) und Ambulanzflugzeuge.

- Eine gründliche Evaluation des Patienten vor dem Flug, frühzeitiges Erkennen und die Kommunikation innerhalb des Teams, eine frühzeitige Defibrillation, qualitativ hochwertige Wiederbelebungsmaßnahmen mit minimaler Unterbrechung der Thoraxkompression und die Behandlung reversibler Ursachen vor dem Flug sind die wichtigsten Maßnahmen, um einer Wiederbelebung während eines Luftrettungseinsatzes vorzubeugen.
- Untersuchen Sie den Patienten gründlich vor dem Flug. Manchmal kann ein bodengebundener Transport eine geeignete Alternative sein, insbesondere für Patienten mit einem hohem Risiko für einen Kreislaufstillstand.
- Überprüfen Sie vor dem Flug, dass der Atemweg gesichert ist und die Anschlüsse zum Beatmungsgerät. Erwägen Sie einen supraglottischen Atemweg (SGA) für das initiale Atemwegsmanagement, wenn es während des Fluges bei einem nicht beatmeten Patienten zum Kreislaufstillstand kommt.
- Die pulsoxymetrische Überwachung der Sauerstoffsättigung (SpO₂) und eine Versorgung mit Sauerstoff soll sofort verfügbar sein, sofern dies nicht bereits geschehen ist.

- Wiederbelebungsmaßnahmen sollen so schnell wie möglich durchgeführt werden. Abhängig vom Hubschraubertyp kann es möglich sein, Wiederbelebungsmaßnahmen aus einer Position hinter dem Kopf des Patienten (Überkopf-CPR) durchzuführen.
- Ziehen Sie eine sofortige Landung in Betracht, wenn die Kabinengröße keine qualitativ hochwertigen Wiederbelebungsmaßnahmen erlaubt.
- Sie sollten immer erwägen, vor dem Flug eine mechanische Reanimationshilfe in Position zu bringen.
- Erwägen Sie drei Defibrillationen in unmittelbarer Folge zu verabreichen, wenn während des Flugs ein defibrillierbarer Rhythmus auftritt.
- Eine Defibrillation während des Flugs durchzuführen ist sicher.

Kreuzfahrtschiff.

- Nutzen Sie sofort alle medizinischen Ressourcen (Personal, Ausrüstung).
- Alarmieren Sie die Luftrettung, falls Sie sich in Küstennähe befinden.
- Erwägen Sie eine frühzeitige telemedizinische Unterstützung.
- Halten Sie das gesamte Equipment, dass für erweiterte Wiederbelebungsmaßnahmen (ALS) benötigt wird an Bord bereit.
- Reicht die Zahl medizinischer Fachkräfte nicht aus, um einen Kreislaufstillstand zu behandeln, fordern Sie durch Lautsprecherdurchsagen weiteres medizinisches Personal an.

Kreislaufstillstand beim Sport Planung.

- Alle Sport- und Trainingseinrichtungen sollen eine medizinische Gefährdungsbeurteilung hinsichtlich des Risikos eines plötzlichen Kreislaufstillstands durchführen.
- Dort wo das Risiko erhöht ist, müssen zur Risikominimierung folgende Vorbereitungen auf eine Wiederbelebung getroffen werden:
 - Schulung von Mitarbeitern und Mitgliedern in der Erkennung und Behandlung eines Kreislaufstillstands.
 - Die unmittelbare Bereitstellung eines AED oder eindeutige Be-

schilderung zum nächstgelegenen öffentlich zugängigen AED.

Durchführung.

- Kollaps erkennen.
- Verschaffen Sie sich umgehend sicheren Zugang zum Spielfeld.
- Rufen Sie um Hilfe und alarmieren Sie den Rettungsdienst.
- Prüfen Sie, ob Lebenszeichen vorhanden sind.
- Bei Fehlen von Lebenszeichen:
 - Wiederbelebungsmaßnahmen beginnen.
 - Besorgen Sie einen AED und defibrillieren Sie, falls indiziert.
- Wenn es zu einem Wiedereinsetzen eines Spontankreislaufes (ROSC) kommt, beobachten und überwachen Sie den Betroffenen sorgfältig, bis eine erweiterte medizinische Versorgung möglich ist.
- Wenn es zu keinem Wiedereinsetzen eines Spontankreislaufes (ROSC) kommt:
 - Führen Sie Wiederbelebungsmaßnahmen und Defibrillationen fort, bis eine erweiterte medizinische Versorgung möglich ist.
 - Ziehen Sie in einem Stadion in Betracht, den Patienten in eine weniger exponierte Umgebung zu bringen und die Wiederbelebung dort fortzusetzen. Dies soll mit minimaler Unterbrechung der Thoraxkompressionen bewerkstelligt werden.

Prävention.

- Treiben Sie keinen Sport, machen Sie insbesondere keine außergewöhnlichen Übungen oder Wettkampfsport, wenn Sie sich unwohl fühlen.
- Befolgen Sie medizinischen Rat in Bezug auf Trainingsniveau oder Wettkampfsport.
- Erwägen Sie eine kardiale Vorsorgeuntersuchung bei jungen Sportlern, die Leistungssport auf hohem Niveau betreiben.

Ertrinken

Erstmaßnahmen.

- Führen Sie eine dynamische Risikobewertung durch, die die Machbar-

Zeichen eines schweren Asthmaanfalls

- Expiratorischer Spitzenfluss (PEF) 33-50% des individuellen Bestwertes (falls unbekannt nutze altersentsprechenden Normalwert)
- Unfähigkeit Sätze in einem Atemzug zu beenden
- Atemfrequenz ≥ 25 /Min
- Herzfrequenz > 110 /Min

Warnzeichen für akute Lebensgefahr

- PEF $< 33\%$
- $SpO_2 < 92\%$
- „Silent chest“, Zyanose oder ineffektive Atmung
- Arrhythmien, Hypotension
- Erschöpfung, Bewusstseinstörung

Bei Vorliegen einer akuten Lebensgefahr:

- arterielle BGA abnehmen
- Weiterführende Diagnostik für die Notfallbehandlung nicht erforderlich

Typische BGA bei Vorliegen akuter Lebensgefahr:

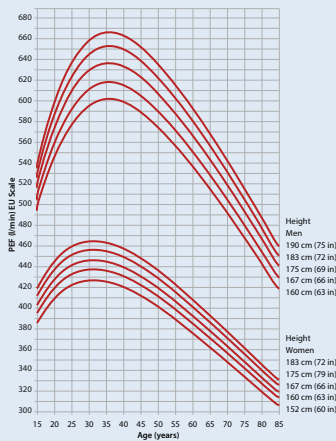
- $PaCO_2$ normal (4,6-6 kPa) 35-45 mmHg –
- Schwere Hypoxie $PaO_2 < 8$ kPa (60mmHg) ungeachtet der anhaltenden Sauerstofftherapie
- niedriger pH

Vorsicht: Patienten mit lebensbedrohlichem Asthmaanfall wirken möglicherweise nicht stark beeinträchtigt und zeigen nicht alle typischen Symptome. Das Vorliegen nur eines Warnzeichens sollte das Behandlungsteam alarmieren!

Spätzeichen des unmittelbar lebensbedrohlichen Asthmaanfalls

- Erhöhtes $PaCO_2$
- Notwendigkeit einer mechanischen Beatmung mit erhöhten Beatmungsdrücken

Sofortige Behandlung



SOFORTIGE BEHANDLUNG

- Sauerstoffgabe bis SpO_2 94-98%
- β_2 - Bronchodilatoren (Salbutamol 5mg) über sauerstoffbetriebene Verneblermaske
- Ipratropiumbromid 0,5mg über sauerstoffbetriebene Verneblermaske
- Prednisolon 40-50mg oral oder Hydrocortison 100mg i.v. (entspricht ca. 25 mg Prednison/ Prednisolon, 20 mg Methyl-Prednisolon i.v.)
- Keine Sedativa!
- Röntgen-Thorax bei Verdacht auf Pneumothorax oder Konsolidierung sowie bei Notwendigkeit einer mechanischen Beatmung

Bei Vorliegen von Warnzeichen für akute Lebensgefahr:

- Erfahrene Kollegen und Intensiv-Team hinzuziehen Erwägen Sie die Gabe von i.v. Magnesiumsulfat 1,2-2g als Kurzinfusion über 20 Minuten Vernebeln sie anhaltend β_2 - Bronchodilatoren z.B. Salbutamol 5 mg alle 15-30 Min. oder 10mg pro Stunde kontinuierlich (erfordert spezielles Equipment, z.B. Ultraschall-Vernebler)

WEITERFÜHRENDE BEHANDLUNG

Bei einer Zustandsbesserung:

- Sauerstoffgabe bis SpO_2 94-98%
- Prednisolon 40-50mg p.o. tägl. oder Hydrocortison 100mg i.v. alle 6 Stunden
- Verneblung von β_2 - Bronchodilatoren und Ipratropiumbromid alle 4-6 Stunden

Wenn sich der Zustand des Patienten nicht innerhalb von 15-30 Min verbessert:

- Verabreichen sie weiterhin Sauerstoff und Steroide
- Vernebeln sie dauerhaft Salbutamol 5-10 mg/Stunde sofern ein geeignetes Gerät zur Verfügung steht. Vernebeln sie alternativ 5 mg Salbutamol alle 15-30 Minuten
- Vernebeln Sie weiterhin alle 4-6 Stunden 0,5 mg Ipratropiumbromid bis eine Besserung eintritt

Wenn sich der Zustand des Patienten auch im weiteren Verlauf nicht verbessert:

- Ziehen sie erfahrene Kollegen und die Intensivstation hinzu
- Erwägen Sie spätestens jetzt die Gabe von i.v. Magnesiumsulfat 1,2-2g als Kurzinfusion 20 Minuten (sofern nicht bereits verabreicht)
- Ein erfahrener Anwender kann die intravenöse Applikation von β_2 - Mimetika oder Theophyllin sowie den Einsatz einer (primär nicht-invasiven) mechanischen Beatmung in Erwägung ziehen

MONITORING

Bei einer Zustandsbesserung:

- Wiederholen Sie die Messung des PEF 15-30 Min nach Beginn der Behandlung
- Pulsoxymetrie: SpO_2 -Zielbereich 94-98%
- Wiederholen Sie die Blutgasanalyse innerhalb der ersten Stunde der Behandlung wenn:
 - o PaO_2 initial < 8 kPa (60 mmHg) war – es sei denn, die Sättigung (SpO_2) steigt im Verlauf über 92% oder
 - o $PaCO_2$ normal oder ansteigend
 - o sich der Patientenzustand verschlechtert
- Dokumentieren sie während des Krankenhausaufenthaltes den PEF vor und nach der Gabe von β_2 - Bronchodilatoren mindestens 4x tägl.

Kriterien für die Verlegung auf Intensivstation (unter Arztbegleitung und in Intubationsbereitschaft)

- Verschlechterung des PEF, zunehmende bzw. anhaltende Hypoxie / Hyperkapnie
- Erschöpfung / Bewusstseinstörung
- Atemversagen oder Atemstillstand

ENTLASSUNG AUS DEM KRANKENHAUS

Bei Entlassung aus dem Krankenhaus sollten die Patienten:

- Mindestens 12-24 Stunden auf die Entlassungsmedikation eingestellt sein und ihren Inhalator sicher beherrschen
- einen PEF $> 75\%$ des Normalwertes erreichen - die tägl. Schwankungen sollten unter $< 25\%$ liegen - außer die Entlassung ist mit einem Pulmologen besprochen
- eine Behandlung mit oralen Steroiden (Prednisolon 40-50mg bis Genesung – min. 5 Tage) sowie inhalative Steroide in Ergänzung zu Bronchodilatoren erhalten
- ein eigenes Gerät zur Messung des PEK besitzen und das Vorgehen bei einem Anfall kennen (asthma action plan)
- Innerhalb von zwei Tagen nach Entlassung einen Termin beim Hausarzt vereinbaren
- Innerhalb von vier Wochen einen Termin beim Pulmologen wahrnehmen

Patienten mit schweren Krankheitsverläufen (häufige Krankenhausaufnahmen) und schlechter Compliance oder ungünstigen psychosozialen Umständen haben ein Risiko für schwere oder gar tödliche Asthmaanfälle.

- Bestimmen sie die Gründe für eine Exazerbation und
- Streben Sie eine enge Abstimmung mit dem Hausarzt an

Abb. 13 ◀ Behandlung von akutem Asthma bei Erwachsenen im Krankenhaus

keit, die Überlebenschancen und die Risiken für den Retter berücksichtigt:

- Für das Behandlungsergebnis hat die Dauer der Submersion den stärksten Vorhersagewert.
- Der Einfluss des Salzgehaltes wird bezüglich des Behandlungsergebnisses uneinheitlich bewertet.
- Beurteilen Sie das Bewusstsein und die Atmung:
 - Wenn der Patient bei Bewusstsein ist und/oder normal atmet, versuchen Sie, einen Kreislaufstillstand zu verhindern.
 - Wenn er bewusstlos ist und nicht normal atmet, beginnen Sie mit der Wiederbelebung.

Prävention des Kreislaufstillstands.

Atemweg

- Stellen Sie sicher, dass der Atemweg offen ist.
- Bei einer lebensbedrohlichen Hypoxie verabreichen Sie so lange 100 % Sauerstoff, bis die arterielle Sauerstoffsättigung oder der arterielle Sauerstoffpartialdruck zuverlässig gemessen werden kann.
- Wenn die SpO₂ zuverlässig gemessen werden kann oder arterielle Blutgaswerte vorliegen, soll die inspiratorische Sauerstoffkonzentration so titriert werden, dass eine arterielle Sauerstoffsättigung von 94 bis 98 % oder ein arterieller Sauerstoffpartialdruck (PaO₂) von 10 bis 13 kPa (75–100 mm Hg) erreicht wird.

Atmung

- Beurteilen Sie die Atemfrequenz, den Einsatz der Atemhilfsmuskulatur, die Fähigkeit in ganzen Sätzen zu sprechen, die Pulsoxymetrie, den Perkussionsbefund und den Auskultationsbefund; fordern Sie eine Röntgenaufnahme des Thorax an.
- Erwägen Sie eine nicht-invasive Beatmung, wenn der Patient Atemnot hat und die Maßnahme sicher durchführbar ist.
- Erwägen Sie bei Atemnot eine invasive maschinelle Beatmung, wenn eine nicht-invasive Beatmung unsicher ist oder nicht initiiert werden kann.
- Ziehen Sie eine extrakorporale Membranoxygenierung in Betracht, wenn

die invasive Beatmung unzureichend effektiv ist.

Kreislauf

- Beurteilen Sie die Herzfrequenz und den Blutdruck, legen Sie ein EKG an.
- Legen Sie einen i.v. Zugang.
- Erwägen Sie zur Kreislaufunterstützung die intravenöse Gabe von Flüssigkeiten und/oder vasoaktiven Medikamenten zur Kreislaufunterstützung.

Neurologischer Zustand

- Nutzen Sie zur Beurteilung das AVPU-Schema oder die GCS.

Weitere Untersuchung

- Messen Sie die Körperkerntemperatur.
- Gehen Sie nach dem Hypothermiealgorithmus vor, wenn die Körperkerntemperatur weniger als 35 °C beträgt.

Kreislaufstillstand.

- Beginnen Sie mit der Wiederbelebung, sobald dies sicher und durchführbar ist. Für darin Ausgebildete kann dazu der Beginn der Beatmung gehören, noch während man im Wasser ist, oder die Durchführung von Beatmungen und Thoraxkompressionen auf einem Boot.
- Beginnen Sie mit der Wiederbelebung, indem Sie fünf Mund-zu-Mund-/Mund-zu-Nase-Beatmungen oder falls verfügbar Beatmungen mit 100 % inspiratorischer Sauerstoffkonzentration vornehmen.
- Bleibt die Person bewusstlos, ohne normale Atmung, beginnen Sie mit den Thoraxkompressionen.
- 30 Thoraxkompressionen werden im Wechsel mit zwei Beatmungen durchgeführt.
- Falls verfügbar, schließen Sie einen AED an, und befolgen Sie die Anweisungen.
- Intubieren Sie endotracheal, wenn Sie dies sicher beherrschen.
- Überlegen Sie, ob eine ECPR unter Berücksichtigung lokaler Protokolle möglich ist, wenn die initialen Wie-

derbelebungsbemühungen nicht erfolgreich sind.

Großschadensfall

- Identifizieren Sie Gefahren und fordern Sie bei Bedarf sofort Unterstützung an.
- Verwenden Sie je nach den spezifischen Risiken an der Einsatzstelle eine angemessene persönliche Schutzausrüstung (PSA; z. B. kugelsichere Weste, Atemschutzmaske, langärmeliger Schutzkittel, Augen- und Gesichtsschutz).
- Reduzieren Sie sekundäre Gefährdungen für andere Patienten und Helfer.
- Verwenden Sie ein lokal etabliertes System zur Sichtung, um die Behandlung zu priorisieren.
- Führen Sie lebensrettende Maßnahmen bei Patienten durch, die als „sofort“ (höchste Priorität) eingestuft wurden, um einen Kreislaufstillstand zu verhindern.
- Erwägen Sie, älteren Menschen und Überlebenden eines Hochrasanztraumas einer höheren Sichtungskategorie zuzuweisen, um vermeidbare Todesfälle zu reduzieren.
- Medizinische Fachkräfte müssen regelmäßig den Umgang mit Sichtungsprotokollen in Simulationen und Live-Übungen trainieren.

Spezielle Patienten

Asthma und COPD

Prävention des Kreislaufstillstands.

Atemweg

- Stellen Sie sicher, dass der Atemweg offen ist.
- Behandeln Sie eine lebensbedrohliche Hypoxie mit Sauerstoff, der mit hohen Flussrate verabreicht wird (■ **Abb. 13**).
- Titrieren Sie die anschließende Sauerstofftherapie mittels Pulsoxymetrie (SpO₂ 94–98 % bei Asthma; 88–92 % bei chronisch obstruktiver Lungenerkrankung [COPD]).

Atmung

- Beurteilen Sie Atemfrequenz, den Einsatz der Atemhilfsmuskulatur, die Fähigkeit in ganzen Sätzen sprechen

zu können, die Pulsoxymetrie, die Perkussion und die Atemgeräusche; fordern Sie eine Röntgenthoraxaufnahme an.

- Suchen Sie nach Hinweisen auf einen Pneumothorax/ Spannungspneumothorax.
- Verabreichen Sie Bronchodilatoren per Inhalation (Vernebelung mittels Sauerstoff bei Asthma, mittels Luft bei COPD).
- Verabreichen Sie Steroide (Prednisolon 40–50 mg oder Hydrokortison 100 mg).
- Erwägen Sie i.v. Magnesiumsulfat bei Asthma.
- Konsultieren Sie einen Experten, bevor Sie Aminophyllin oder Salbutamol i.v. verabreichen.

Kreislauf

- Beurteilen Sie die Herzfrequenz und den Blutdruck, legen Sie ein EKG an.
- Etablieren Sie einen venösen Gefäßzugang
- Erwägen Sie eine i.v. Flüssigkeitsgabe.

Behandlung eines Kreislaufstillstands.

- Verabreichen Sie Sauerstoff in hoher Konzentration.
- Beatmen Sie mit einer Atemfrequenz von 8 bis 10 pro Minute und einem ausreichenden Atemzugvolumen, sodass der Brustkorb sich hebt.
- Führen Sie eine endotracheale Intubation durch, wenn Sie dies sicher beherrschen.
- Suchen Sie nach Zeichen eines Spannungspneumothorax und behandeln Sie diesen entsprechend.
- Diskonnektieren Sie den Patienten gegebenenfalls von der maschinellen Beatmung und üben Druck auf den Thorax aus, um eine Überblähung manuell zu reduzieren.
- Erwägen Sie eine i.v. Flüssigkeitsgabe.
- Erwägen Sie eine ECPR unter Berücksichtigung lokaler Protokolle, wenn die initialen Wiederbelebungsversuche nicht erfolgreich sind.

Neurologische Erkrankung

- Bei einem Kreislaufstillstand aufgrund einer primären neurologischen Ursache sind keine Änderungen bei den Basismaßnahmen (BLS) und den

erweiterten Maßnahmen (ALS) der Wiederbelebung erforderlich.

- Wenn Sie eine neurologische Ursache eines Kreislaufstillstands vermuten, beachten Sie nach Wiedereinsetzen eines Spontankreislaufs (ROSC) die klinischen Aspekte wie junges Alter, weibliches Geschlecht, nichtdefibrillierbarer Rhythmus und neurologische Vorzeichen wie Kopfschmerzen, Krampfanfälle und ein fokales neurologisches Defizit.
- Die frühzeitige Erkennung einer neurologischen Ursache ist mithilfe einer kranialen Computertomographie (CCT) zum Zeitpunkt der Krankenhausaufnahme, vor oder nach einer Koronarangiographie möglich.
- Fehlen Zeichen oder Symptome, die eine neurologische Ursache nahelegen (z. B. Kopfschmerzen, Krampfanfälle oder neurologische Defizite) oder wenn klinische Zeichen oder das EKG auf eine Myokardischämie hinweisen, wird zuerst eine Koronarangiographie durchgeführt, und wenn keine ursächlichen Veränderungen nachweisbar sind, nachfolgend eine Computertomographie.

Adipositas

- Bei adipösen Patienten kann es aus verschiedenen Gründen erschwert sein eine effektive Wiederbelebung durchzuführen:
 - Zugang zum Patienten und Transport
 - Zugang zum Gefäßsystem
 - Atemwegsmanagement
 - Qualität der Thoraxkompressionen
 - Wirksamkeit vasoaktiver Medikamente
 - Effektivität der Defibrillation
- Führen Sie Thoraxkompressionen mit einer Eindringtiefe bis maximal 6 cm durch.
- Es ist nicht zwingend notwendig übergewichtige Patienten, die in einem Bett liegen, auf den Boden zu legen.
- Lassen Sie die Helfer, die Thoraxkompressionen durchführen, häufiger wechseln.
- Erwägen Sie, die Defibrillationsenergie bei wiederholten Schockabgaben

bis zur maximalen Energie zu eskalieren.

- Die manuelle Beatmung mittels Beutel-Masken-Beatmung sollte minimiert werden und von erfahrenem Personal unter Einsatz einer Zwei-Personen-Technik durchgeführt werden.
- Ein erfahrener Anwender sollte eine frühzeitige endotracheale Intubation durchführen, damit die Dauer der Beutel-Masken-Beatmung minimiert wird.

Schwangerschaft

Verhinderung eines Kreislaufstillstands bei einer sich verschlechternden schwangeren Patientin.

- Verwenden Sie ein validiertes geburtshilfliches Frühwarnsystem, wenn Sie eine erkrankte schwangere Patientin versorgen.
- Gehen Sie systematisch nach dem ABCDE-Schema vor, um die schwangere Patientin zu beurteilen und zu behandeln.
- Lagern Sie die Patientin in Links-Seitenlage oder verschieben Sie den Uterus manuell und vorsichtig nach links, um die aortokavale Kompression zu lindern.
- Geben Sie durch Pulsoxymetrie gesteuert Sauerstoff, um eine Hypoxämie zu korrigieren.
- Verabreichen Sie einen Flüssigkeitsbolus bei Hypotonie oder bei Hinweisen auf eine Hypovolämie.
- Reevaluieren Sie umgehend den Bedarf für jedes Medikament, das verabreicht wurde.
- Ersuchen Sie frühzeitig nach Unterstützung durch Experten – Spezialisten für Geburtshilfe, Anästhesie, Intensivmedizin und Neonatologie sollen frühzeitig in die Wiederbelebung einbezogen werden.
- Identifizieren und behandeln Sie die zugrundeliegende Ursache des Kreislaufstillstands, z. B. Kontrolle von Blutungen, Sepsis.
- Verabreichen Sie 1 g Tranexamsäure i. v. bei postpartalen Blutungen.

Tab. 1 Ursachen für Kreislaufstillstand durch Asphyxie

Trauma
Erhängen
Chronisch obstruierende Lungenerkrankung
Asthma
Atemwegsobstruktion, Weichteilgewebe (Koma), Laryngospasmus, Aspiration
Ertrinken
Zentrale Hypoventilation – Hirn- oder Rückenmarksverletzung
Beeinträchtigte alveoläre Atmung aufgrund einer neuromuskulären Erkrankung
Traumatische Asphyxie oder Kompressionsasphyxie (z. B. Perthes-Syndrom, Massenpanik), Spannungspneumothorax
Lungenentzündung
Große Höhe
Lawinenverschüttung
Anämie

Modifikation erweiternder lebensrettender Maßnahmen bei schwangeren Patientinnen.

- Fordern Sie frühzeitig Unterstützung durch Experten an (einschließlich Geburtshelfer und Neonatologe).
- Beginnen Sie mit den lebensrettenden Basismaßnahmen gemäß den Leitlinien.
- Verwenden Sie die Standardhandposition für die Thoraxkompression auf der unteren Hälfte des Brustbeins, wenn dies realisierbar ist.
- Bei einer Schwangerschaft jenseits der 20. Woche oder wenn der Uterus oberhalb des Nabels palpabel ist:
 - Verschieben Sie den Uterus manuell nach links, um die aortokavale Kompression zu beseitigen.
 - Wenn möglich, kippen Sie zusätzlich nach links lateral – der Brustkorb sollte auf einer festen Oberfläche (z. B. im Operationsaal) liegen bleiben. Der optimale Neigungswinkel ist unbekannt. Streben Sie eine Neigung zwischen 15 und 30 Grad an. Sogar eine kleine Neigung kann besser sein als keine Neigung. Der verwendete Neigungswinkel muss hochwertige Thoraxkompressionen ermöglichen und wenn erforderlich die Durchführung einer Kaiserschnittentbindung ermöglichen.

- Seien Sie frühzeitig auf eine Notfall-Hysterostomie vorbereitet – der Fötus muss entbunden werden, wenn sofortige (innerhalb von 4 min) Wiederbelebensmaßnahmen fehlschlagen.
- Nach der 20. Schwangerschaftswoche oder wenn der Uterus über dem Niveau des Nabels tastbar ist und eine sofortige (innerhalb von 4 min) Wiederbelebung nicht erfolgreich ist, führen Sie einen Notfall-Kaiserschnitt durch mit dem Ziel den Fötus innerhalb von 5 min nach dem Kollaps zu entbinden.
- Platzieren Sie die Defibrillatorelektroden, so weit dies möglich ist, in der Standardposition und verwenden Sie die üblichen Energieen bei der Schockabgabe.
- Erwägen Sie eine frühe endotracheale Intubation durch einen erfahrenen Anwender.
- Identifizieren und behandeln Sie reversible Ursachen (z. B. Blutungen). Fokussierter Ultraschall durch einen erfahrenen Anwender kann helfen, reversible Ursachen eines Kreislaufstillstands zu identifizieren und zu behandeln.
- Betrachten Sie die extrakorporale Wiederbelebung (ECPR) als Rettungstherapie, wenn die ALS-Maßnahmen fehlschlagen.

Vorbereitung auf einen Kreislaufstillstand in der Schwangerschaft.

Medizinische Einrichtungen, die sich mit Kreislaufstillstand in der Schwangerschaft befassen, sollen:

- Pläne und Ausrüstung für die Wiederbelebung sowohl der schwangeren Frau als auch des Neugeborenen haben.
- Sicherstellen, dass Teams für Geburtshilfe, Anästhesie, Intensivmedizin und Neonatologie frühzeitig involviert werden.
- Regelmäßige Schulungen in geburts-hilflichen Notfällen sicherstellen.

Evidenz, die in die Leitlinien einfließt

Besondere Ursachen

Hypoxie

Ein Kreislaufstillstand durch reine Hypoxämie ist selten. Er wird häufiger als Folge einer Asphyxie gesehen, die für die meisten nichtkardialen Ursachen eines Kreislaufstillstands verantwortlich ist. Es gibt viele Ursachen für einen Kreislaufstillstand durch Asphyxie (■ Tab. 1). Obwohl normalerweise eine Kombination aus Hypoxämie und Hyperkapnie vorliegt, ist es die Hypoxämie, die letztendlich einen Kreislaufstillstand verursacht [9]. In einer epidemiologischen Studie mit 44.000 OHCA in Osaka, Japan, machte die Asphyxie 6% der Herzstillstände aus, Erhängen 4,6% und Ertrinken 2,4% [10].

Die Evidenz für die Behandlung des Kreislaufstillstands durch Asphyxie basiert hauptsächlich auf Beobachtungsstudien. Es gibt nur sehr wenige Daten, die verschiedene Therapien zur Behandlung des Kreislaufstillstands durch Asphyxie vergleichen, obgleich es Daten gibt, die eine Standard-CPR mit einer Wiederbelebung nur durch Thoraxkompression vergleichen. Die Leitlinien für die klinische Praxis basieren weitgehend auf Expertenmeinungen.

Pathophysiologische Mechanismen.

Wenn das Atmen durch eine Atemwegsobstruktion oder Apnoe vollständig verhindert wird, geht das Bewusstsein verloren, wenn die Sauerstoffsättigung im arteriellen Blut etwa 60% erreicht. Die Zeit, die benötigt wird, um diese Konzentration zu erreichen, ist schwer vorherzusagen, aber basierend auf mathematischen Modellen liegt sie wahrscheinlich in der Größenordnung von 1 bis 2 min [11]. Basierend auf Tierversuchen, in denen ein Kreislaufstillstand durch Asphyxie ausgelöst wird, kommt es nach 3–11 min zu einer pulslosen elektrischen Aktivität (PEA). Eine Asystolie tritt einige Minuten später auf [12]. Im Vergleich zu einer einfachen Apnoe erhöhen die extremen Atemanstrengungen, die häufig mit einer Atemwegsobstruktion einhergehen, den Sauerstoffverbrauch,

was zu einer schnelleren Sauerstoffentsättigung des arteriellen Bluts und einer kürzeren Zeit bis zum Kreislaufstillstand führt. Bei Raumluftatmung wird eine vollständige Atemwegsobstruktion in 5–10 min zu einem Kreislaufstillstand mit PEA führen [9]. Kammerflimmern ist selten als initial abgeleiteter Rhythmus nach einem Kreislaufstillstand durch Asphyxie zu beobachten – bei zwei der größten Untersuchungen zu Kreislaufstillständen außerhalb des Krankenhauses (OHCA) bei Erhängten, eine aus Melbourne, Australien, und eine aus Osaka, Japan, lag nur bei 20 (0,6%) von 3320 Patienten Kammerflimmern vor [10, 13].

Alleinige Thoraxkompressionen versus konventionelle CPR. ILCOR und der ERC empfehlen, dass Ersthelfer, die geschult, in der Lage und willens sind, Mund-zu-Mund-Beatmungen und Herzdruckmassage durchzuführen, dies bei allen erwachsenen Patienten mit Kreislaufstillstand tun sollen (schwache Empfehlung, Evidenz mit sehr geringer Sicherheit; [14, 15]). Beobachtungsstudien legen eine konventionelle CPR noch mehr nahe, wenn eine nichtkardiale Ursache für einen Kreislaufstillstand vorliegt [16, 17].

Reanimationserfolg. Das Überleben nach einem Kreislaufstillstand aufgrund von Asphyxie ist selten und die meisten Überlebenden erleiden schwere neurologische Schäden. Die Osaka-Studie dokumentierte ein einmonatiges Überleben bzw. ein neurologisch günstiges Ergebnis nach Kreislaufstillstand bei: Asphyxie 14,3 und 2,7%; Erhängen 4,2 und 0,9%; und Ertrinken 1,1 und 0,4% [10].

Bei acht veröffentlichten Untersuchungen, die insgesamt 4189 Patienten mit Kreislaufstillstand nach Erhängen bei Wiederbelebungsversuchen umfassten, betrug die Gesamtüberlebensrate 4,3%; Es gab nur 45 (1,1%) Überlebende mit einem günstigen neurologischen Ergebnis (CPC 1 oder 2). Bei 135 anderen Überlebenden wurde CPC 3 oder 4 dokumentiert [10, 13, 18–23]. Bei der Wiederbelebung dieser Patienten konnten Rettungskräfte häufig ein Wiederein-

setzen des Spontankreislaufes (ROSC) erreichen, ein nachfolgendes, neurologisch intaktes Überleben ist jedoch selten. Bei denjenigen, die bewusstlos sind, aber noch keinen Kreislaufstillstand erlitten haben, ist eine gute neurologische Erholung viel wahrscheinlicher [19, 23, 24].

Hypovolämie

Hypovolämie ist eine potenziell behandelbare Ursache für einen Kreislaufstillstand, der normalerweise aus einem verringerten intravaskulären Volumen (z. B. Blutung) resultiert. Eine relative Hypovolämie kann jedoch auch bei Patienten mit schwerer Vasodilatation (z. B. Anaphylaxie, Sepsis, Rückenmarksverletzung) auftreten. Hypovolämie durch mediatorvermittelte Vasodilatation und erhöhte Kapillarpermeabilität ist ein Hauptfaktor, der bei schwerer Anaphylaxie einen Kreislaufstillstand verursacht [25]. Hypovolämie durch Blutverlust ist eine der häufigsten Todesursachen bei traumatischem Kreislaufstillstand [26]. Externer Blutverlust ist normalerweise offensichtlich, z. B. Trauma, Blut erbrechen oder Bluthusten. Eine Hypovolämie kann jedoch bei okkulten Blutungen z. B. gastrointestinale Blutungen oder Ruptur eines Aortenaneurysmas, schwierig zu diagnostizieren sein. Patienten, die sich einer größeren Operation unterziehen, sind einem hohen Risiko aufgrund einer postoperativen Blutung ausgesetzt und müssen angemessen überwacht werden (siehe perioperativer Kreislaufstillstand). Beginnen Sie je nach vermuteter Ursache eine Volumentherapie mit erwärmten Blutprodukten und/oder Kristalloiden, um das intravaskuläre Volumen schnell wiederherzustellen. Beginnen Sie gleichzeitig mit einer sofortigen Intervention zur Kontrolle von Blutungen, z. B. chirurgische Versorgung, Endoskopie, endovaskuläre Techniken [27], oder behandeln Sie die Hauptursache (z. B. anaphylaktischer Schock). Verwenden Sie in den Anfangsstadien der Versorgung jede kristalloide Lösung, die sofort verfügbar ist, wenn eine Blutung wahrscheinlich ist, streben sie frühzeitig eine Bluttransfusion und eine Kreislaufunterstützung mit Vasopressoren an. Ist ein in der Sonographie Erfahrener zuge-

gen, der einen Ultraschall mit minimaler Unterbrechung der Herzdruckmassagen durchführen kann, kann dies als zusätzliches diagnostisches Instrument bei hypovolämischem Kreislaufstillstand erwogen werden. Behandlungsempfehlungen für Kreislaufstillstand- und Periarrestsituationen bei Trauma, Anaphylaxie und Sepsis werden in separaten Abschnitten behandelt, da spezifische therapeutische Ansätze erforderlich sind.

Traumatischer Kreislaufstillstand (TCA)

Bei traumatischem Kreislaufstillstand (TCA) ist die Mortalität sehr hoch. Nach Wiedereinsetzen eines Spontankreislaufes (ROSC) ist das neurologische Ergebnis bei Überlebenden deutlich besser als bei anderen Ursachen für einen Kreislaufstillstand [28, 29]. Die Reaktion auf einen TCA ist zeitkritisch und der Erfolg hängt von einer gut etablierten Überlebenskette ab, einschließlich einer erweiterten Versorgung in der Präklinik und in spezialisierten Traumazentren. Sofortige Wiederbelebungsmaßnahmen beim TCA konzentrieren sich auf die gleichzeitige Behandlung reversibler Ursachen, die Vorrang vor Thoraxkompressionen hat.

Dieser Abschnitt basiert auf einer Aktualisierung der Evidenz zum TCA, die aus neueren systematischen Übersichtsarbeiten und dem Stand der Forschungsliteratur (Scoping-Review) gewonnen wurde, wobei die folgenden Fragestellungen behandelt wurden [28, 30–32]:

- Thoraxkompressionen bei Hypovolämie bedingtem Kreislaufstillstand/ Periarrest-Phase (1291 Titel gescreent, 120 Abstracts gescreent, 8 Publikationen ausgewählt).
- Thoraxkompressionen versus offene Herzmassage (808 Titel gescreent, 43 Abstracts gescreent, 29 Publikationen ausgewählt).
- Nadel-Thorakozentese versus Notfall-Thorakotomie bei Perikardtamponade (572 Titel gescreent, 29 Abstracts gescreent, 7 Publikationen ausgewählt).
- Nadel-Dekompression bei traumatischem Spannungspneumothorax (214 Titel gescreent, 7 Abstracts gescreent, 5 Publikationen ausgewählt).

- REBOA versus Aortenverschluss der absteigenden Aorta bei TCA oder in der Periarrest-Phase (1056 Titel gescreent, 156 Abstracts gescreent, 11 Publikationen ausgewählt).

Epidemiologie und Pathophysiologie

Ein traumatisch bedingter Kreislaufstillstand (TCA) hat eine hohe Mortalität. Laut Registerdaten liegt das Überleben zwischen 1,6 und 32% [33–37]. Die erhebliche Streuung des gemeldeten Überlebens spiegelt hauptsächlich die Heterogenität der Aufnahmekriterien wider, aber auch die Unterschiedlichkeit der Fälle und der Versorgung in verschiedenen Systemen.

Bei Überlebenden scheint das neurologische Ergebnis viel besser zu sein als bei anderen Ursachen eines Kreislaufstillstands [26, 29, 35, 37]. Die reversiblen Ursachen von TCA sind unkontrollierte Blutungen (48%), Spannungspneumothorax (13%), Asphyxie (13%), Perikardtamponade (10%; [26]). Die bei einem TCA initial beobachteten Herzrhythmen sind, abhängig vom Zeitintervall zwischen Kreislaufstillstand und der ersten EKG-Aufzeichnung, entweder PEA oder Asystolie: PEA (66%), Asystolie (30%), VF (6%; [26]).

Diagnose

Patienten mit TCA haben üblicherweise eine Bewusstlosigkeit, eine agonale oder fehlende Spontanatmung und keinen zentralen Puls. Ein Periarrestzustand ist durch kardiovaskuläre Instabilität, Hypotonie, Verlust peripherer Impulse und eine sich verschlechternde Bewusstseinslage gekennzeichnet, ohne offensichtlich zugrundeliegende Probleme des Zentralnervensystems. Unbehandelt führt dieser Zustand wahrscheinlich zu einem Kreislaufstillstand. Der Einsatz von Ultraschall kann dazu beitragen, die Ursache eines TCA zu verifizieren und die Wiederbelebungsmaßnahmen entsprechend zu lenken [38].

Prognosefaktoren und Zurückhalten der Wiederbelebung

Es gibt keine zuverlässigen Prädiktoren für das Überleben bei einem TCA. Zu den Kriterien, die mit einem Überleben assoziiert sind, gehören das Vorhandensein einer Pupillenreaktion, Atembemühungen, Spontanbewegungen und ein or-

ganisierter EKG-Rhythmus [39, 40]. Eine kurze Wiederbelebungsdauer, kurze präklinische Zeiten [41], ein penetrierendes Thoraxtrauma [42], ein beobachteter Kreislaufstillstand und das Vorhandensein eines defibrillierbaren Rhythmus sind ebenfalls mit guten Ergebnissen verbunden [43, 44]. Kinder, bei denen es zu einem TCA kommt, zeigen ein besseres Überleben als Erwachsene [28, 29].

Das American College of Surgeons und die National Association of EMS-Physicians empfehlen, auf eine Wiederbelebung in Situationen zu verzichten, in denen der Tod unvermeidlich ist oder festgestellt wurde, und bei Traumpatienten mit Apnoe, Pulslosigkeit und ohne organisierte EKG-Aktivität [45]. Gleichwohl wurde von Überlebenden ohne neurologisches Defizit gemeldet, die sich initial in diesem Zustand befanden [29]. Wir empfehlen daher den folgenden Ansatz:

Erwägen Sie, auf eine Wiederbelebung bei einem TCA bei einer der folgenden Zustände zu verzichten:

- Keine Lebenszeichen in den vorangegangenen 15 min
- Massives Trauma, das mit dem Überleben nicht vereinbar ist (z. B. Enthauptung, penetrierende Herzverletzung, Verlust von Gehirngewebe)

Wir empfehlen die Wiederbelebungsmaßnahmen einzustellen, wenn:

- es zu keinem Wiedereinsetzen eines Spontankreislaufes kommt, nachdem reversible Ursachen behoben wurden
- bei der Sonographie keine kardiale Aktivität bei einer PEA festgestellt werden kann, nachdem reversible Ursachen behoben wurden.

Initiale Managementschritte

Präklinische Versorgung

Die wichtigste Entscheidung im präklinischen Umfeld ist es festzustellen, ob der Kreislaufstillstand durch ein Trauma oder ein zugrundeliegendes medizinisches Problem verursacht wird. Wenn ein TCA nicht bestätigt werden kann, gelten die Standard-ALS-Leitlinien. Kurze präklinische Zeiten sind mit erhöhten Überlebensraten bei schweren Trauma und traumatischem Kreislaufstillstand verbunden [38].

Versorgung im Krankenhaus

Eine erfolgreiche Behandlung eines TCA erfordert ein teamorientiertes Vorgehen, bei dem alle Maßnahmen eher parallel als nacheinander durchgeführt werden. Der Schwerpunkt liegt auf der schnellen Behandlung aller potenziell reversiblen Ursachen. Die **Abb. 2** zeigt den Algorithmus für den traumatischen Kreislaufstillstand des European Resuscitation Council (ERC), der auf dem universellen ALS-Algorithmus basiert.

Effektivität von Thoraxkompressionen

Bei einem Kreislaufstillstand aufgrund einer Hypovolämie, Herzbeutelampnade oder einem Spannungspneumothorax ist es unwahrscheinlich, dass Thoraxkompressionen so effektiv sind wie bei einem normovolämischem Kreislaufstillstand und sie können das verbleibende spontane Herzzeitvolumen verringern [46–48]. Thoraxkompressionen haben daher eine niedrigere Priorität als die Behandlung der reversiblen Ursachen. Thoraxkompressionen dürfen die sofortige Behandlung reversibler Ursachen nicht verzögern. In einer retrospektiven Kohortenstudie, in der Daten aus der Datenbank des Trauma Quality Improvement Program (TQIP), einem landesweiten Traumaregister in den USA, zwischen 2010 und 2016 analysiert wurden, wurden offene Herzmassagen mit herkömmlichen Thoraxkompressionen bei Patienten mit innerklinischem Kreislaufstillstand, die mit Lebenszeichen aufgenommen wurden, verglichen. Die Ergebnisse in dieser spezifischen Patientengruppe zeigten ein vorteilhaftes Ergebnis für die Patienten, bei denen offene Herzmassagen anstatt herkömmlichen Thoraxkompressionen durchgeführt wurden [49].

Hypovolämie

Die Behandlung eines schweren hypovolämischen Schocks hat mehrere Elemente. Der Grundsatz ist, eine sofortige Hämostase zu erzielen. Eine temporäre Blutungskontrolle kann lebensrettend sein [38]. Bei hypovolämischen TCA ist eine sofortige Wiederherstellung des zirkulierenden Blutvolumens mit Blutprodukten obligatorisch. Die präklinische Transfusion von frischem Plasma und Erythrozytenkonzentraten bietet einen signifikanten Überlebensvorteil, wenn

die Transportzeit zum aufnehmenden Krankenhaus 20 min überschreitet [50, 51].

Komprimierbare äußere Blutungen können mit direktem oder indirektem Druck, Druckverbänden, Tourniquets und topischen Hämostyptika behandelt werden [52]. Nicht komprimierbare Blutungen sind schwieriger zu behandeln und Schienen (Beckenschlinge), Blutprodukte, i.v. Flüssigkeiten und Tranexamsäure können eingesetzt werden, während der Patient zur chirurgischen Blutungskontrolle transportiert wird.

- Bei verblutenden Patienten mit unkontrollierbarer infradiaphragmaler Blutung wird ein sofortiger Aortenverschluss als letztes Mittel empfohlen. Dies kann durch eine Notfallthorakotomie (RT) und Abklemmen der Aorta descenden oder durch einen temporären Verschluss der Aorta durch einen Ballon („Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta“ [REBOA]) erreicht werden. Es gibt keine Hinweise darauf, dass eine Technik der anderen überlegen ist [30].
- Ein neurogener Schock als Folge einer Rückenmarksverletzung („spinal cord injury“ [SCI]) kann die Hypovolämie aufgrund von Blutverlust bei Traumapatienten verschlimmern. Selbst ein mäßiger Blutverlust kann bei Vorhandensein einer SCI aufgrund der begrenzten Kompensationskapazität zu einem Kreislaufstillstand führen. Indikatoren für eine SCI bei schwerverletzten Patienten sind eine warme Peripherie und ein Reflexverlust unterhalb des verletzten Segments, schwere Hypotonie und eine niedrige Herzfrequenz. Die Eckpfeiler der Behandlung sind Flüssigkeitsersatz und i.v. Vasopressoren [53].

Hypoxie

Bei einem TCA kann eine Hypoxämie durch eine Atemwegsobstruktion, traumatische Asphyxie oder eine primäre Apnoe bei einem Schädel-Hirn-Trauma („Impact-Brain-Apnea“) verursacht werden [54]. Die Auswirkungen eines zerebralen Atemstillstands auf Grund

eines Schädel-Hirn-Traumas sind eine unterschätzte Ursache für Morbidität und Mortalität bei Traumata, die jedoch nicht unbedingt mit einer nicht überlebenschfähigen Hirnverletzung verbunden ist [55]. Ein primärer Atemstillstand bei einem Schädel-Hirn-Trauma kann den Verlauf einer traumatischen Hirnverletzung verschlimmern und zu einer Asphyxie führen, wenn er nicht behandelt wird. Ein effektives Atemwegsmanagement und eine Beatmung können einem hypoxischen Kreislaufstillstand vorbeugen und beheben.

Eine kontrollierte Beatmung bei Patienten mit Kreislaufstörungen ist jedoch mit erheblichen Risiken verbunden, die mit der Nebenwirkung von Anästhetika und dem Anstieg des intrathorakalen Drucks [56] verbunden sind und zu folgenden Ergebnissen führen können [57]:

- weitere Abnahme des verbleibenden Herzzeitvolumens durch Beeinträchtigung des venösen Rückstroms zum Herzen, insbesondere bei stark hypovolämen Patienten
- Reduzierte diastolische Füllung bei Herzbeutelamponade
- Umwandlung eines Pneumothorax in einen Spannungspneumothorax
- Zunahme des Blutverlusts aus venösen Blutungsstellen

Niedrige Atemzugvolumina können zur Optimierung der kardialen Vorlast beitragen. Die Beatmung sollte mit Kapnographie überwacht und angepasst werden, um eine Normokapnie zu erreichen [38, 58].

Spannungspneumothorax

Zur Dekompression des Thorax bei einem TCA führen Sie bilaterale Thorakostomien im 4. Interkostalraum (ICR) durch, was im Bedarfsfall eine Erweiterung auf eine Clamshell-Thorakotomie ermöglicht. Alternativ kann eine Nadelthorakozentese versucht werden (siehe entsprechenden Leitlinienabschnitt). Bei Überdruckbeatmung sind Thorakostomien wahrscheinlich wirksamer als die Nadelthorakozentese und schneller als das Einführen einer Thoraxdrainage [59–62].

Herzbeutelamponade

Eine Herzbeutelamponade ist eine häufige Ursache für einen Kreislaufstillstand

bei einem penetrierenden Thoraxtrauma. Eine sofortige Notfallthorakotomie („resuscitative thoracotomy“ [RT]) über einen Clamshell- oder einen links anterolateralen Zugang ist indiziert, um die Kreislauffunktion wiederherzustellen [63, 64]. Die Überlebenschance ist bei Herzstichwunden etwa viermal höher als bei Schussverletzungen [65].

Die Voraussetzungen für eine erfolgreiche RT können als „Vier-E-Regel“ (4E) zusammengefasst werden:

- **Expertise:** Teams, die RT durchführen, müssen von einem hochqualifizierten und kompetenten Arzt geleitet werden. Diese Teams müssen innerhalb eines soliden Regelungsrahmens tätig werden.
- **Ausrüstung:** Eine angemessene Ausrüstung ist obligat, um eine RT durchführen zu können und um die intrathorakalen Befunde behandeln zu können.
- **Umgebung:** Idealerweise soll eine RT in einem Operationssaal durchgeführt werden. Eine RT soll nicht durchgeführt werden, wenn der physische Zugang zum Patienten unzureichend ist oder wenn das Zielkrankenhaus nicht leicht zu erreichen ist.
- **Verstrichene Zeit:** Die Zeit vom Verlust der Vitalfunktionen bis zum Beginn einer RT soll nicht länger als 15 min sein

Wenn eines der vier Kriterien nicht erfüllt ist, ist eine RT aussichtslos und setzt das Team unnötigen Risiken aus. Eine RT ist auch im präklinischen Umfeld eine machbare therapeutische Option [31, 32, 66].

Nachfolgendes Management und Behandlung

Das Prinzip der „Schaden kontrollierenden Notfalltherapie“ („damage control resuscitation“) wurde zur Versorgung Schwerverletzter bei unkontrollierten Blutungen übernommen. Bei der „Schaden kontrollierenden Notfalltherapie“ wird die permissive Hypotonie und die hämostatische Notfallversorgung („hemostatic resuscitation“) mit der Schaden kontrollierenden Operation („damage control surgery“) kombiniert. Begrenzte Evidenz und allgemeiner Kon-

sens haben einen konservativen Ansatz für die i.v. Flüssigkeitsgabe unterstützt, bei der eine permissive Hypotonie erlaubt ist, bis eine chirurgische Hämostase erreicht ist [67]. Die permissive Hypotonie ermöglicht die intravenöse Verabreichung von Flüssigkeit bis zu einem Volumen, das ausreicht, um einen radialen Puls aufrechtzuerhalten. Bei Patienten mit einem Schädel-Hirn-Trauma ist Vorsicht geboten, wenn ein erhöhter Hirndruck einen höheren zerebralen Perfusionsdruck erfordern kann. Die Dauer der hypotensiven Notfallversorgung soll 60 min nicht überschreiten, da das Risiko einer irreversiblen Organschädigung dann den beabsichtigten Nutzen übersteigt [68]. Hämostatische Notfallversorgung meint den sehr frühen Einsatz von Blutprodukten zur primären Flüssigkeitstherapie, um ein Verbluten und die traumabedingte Koagulopathie zu verhindern [69–71]. Tranexamsäure (TXA; Initialdosis 1 g i.v. über 10 min, gefolgt von Infusion von 1 g über 8 h) verbessert das Überleben bei traumatisch bedingter Hämorrhagie. Sie ist am effektivsten, wenn sie innerhalb der ersten Stunde und sicherlich innerhalb der ersten drei Stunden nach dem Trauma verabreicht wird [72]. TXA soll nicht später als vier Stunden nach der Verletzung verabreicht werden, da dies die Sterblichkeit erhöhen kann.

Diagnostik

Bei der Beurteilung des beeinträchtigten Traumapatienten sollte die Sonographie genutzt werden, um zielgerichtet lebensrettende Maßnahmen zu ergreifen, wenn die Ursache des Schocks nicht klinisch diagnostiziert werden kann. Ein Hämoperitoneum, ein Häm- oder Pneumothorax und eine Herzbeutelamponade können damit innerhalb von Minuten diagnostiziert werden [38, 73].

Anaphylaxie. Diese Leitlinie ist spezifisch für die Erstbehandlung von erwachsenen Patienten mit Anaphylaxie oder wenn Kliniker den Verdacht auf eine Anaphylaxie äußern. Eine genaue Definition der Anaphylaxie ist für die Notfallbehandlung nicht wichtig. Eine Anaphylaxie ist eine schwerwiegende systemische allergische Reaktion, die schnell einsetzt und zum Tod führen

kann [74]. Die Inzidenz der Anaphylaxie nimmt weltweit zu, während die Todesfallrate stabil geblieben oder gesunken ist, bei einem Sterblichkeitsrisiko für die Gesamtpopulation von etwa 0,5 bis 1 pro Million [75, 76]. Lebensmittel (insbesondere bei Kindern), Drogen und Insektenstiche sind die häufigsten Auslöser [75].

Dieser Anaphylaxie-Leitfaden basiert auf den neuesten Erste-Hilfe-ILCOR-CoSTR-Leitlinien [52] und Aktualisierungen des Anaphylaxie-Komitees der Weltallergieorganisation [77], der Europäischen Akademie für Allergie und klinische Immunologie (EAACI; [25]), den North American Practice Parameter [78], der Australasian Society of Clinical Immunology and Allergy (ASCI; <https://www.allergy.org.au/hp/papers/acute-management-of-anaphylaxis-guidelines>, aufgerufen am 10. August 2020), den aktuellen Leitlinien zu perioperativen allergischen Reaktionen [79], den Ergebnissen aus Großbritanniens Nationalem Audit-Projekt zur perioperativen Anaphylaxie [80] und unserem Verständnis der Pathophysiologie der Anaphylaxie [81]. Wir haben bis Juli 2020 eine gezielte Literaturrecherche durchgeführt, um neue relevante Studien zu identifizieren. Die Evidenz, die spezifische Interventionen zur Behandlung der Anaphylaxie befürwortet, ist limitiert und stützt sich auf wenige RCT. Die meisten Empfehlungen basieren auf Beobachtungsdaten, Aussagen zu bewährten Verfahren und Expertenmeinungen [78, 82].

Erkennen der Anaphylaxie

Eine Anaphylaxie verursacht lebensbedrohliche Reaktionen im Bereich der Atemwege (geschwollene Lippen, Zunge, Uvula), der Atmung (Dyspnoe, Keuchen, Bronchospasmus, Stridor, reduzierter Spitzenfluss, Hypoxämie) und des Kreislaufs (Hypotonie, Kreislaufstillstand) mit oder ohne Haut- oder Schleimhautveränderungen (generalisierte Urtikaria, Erröten oder Jucken) als Teil einer allergischen Reaktion [25, 52, 74, 83]. Haut- und Schleimhautveränderungen sind nicht immer vorhanden oder für den Helfer offensichtlich, und ein schwerer Bronchospasmus, Hypotonie oder selten ein plötzlicher Kreislaufstillstand kön-

nen die ersten Merkmale sein [76, 80]. Die Kenntnis der Allergieranamnese des Patienten und Auslöser können zur Diagnosefindung hilfreich sein, dies wird jedoch nicht immer bekannt sein.

Entfernen oder stoppen Sie den Auslöser, wenn möglich

Basierend auf dem Konsens von Experten, setzen Sie alle Medikamente ab, die im Verdacht stehen können eine Anaphylaxie auszulösen. Entfernen Sie den Stachel nach einem Bienenstich – eine frühzeitige Entfernung ist wichtiger als die Methode der Entfernung [84, 85]. Verzögern Sie die endgültige Behandlung nicht, wenn das Entfernen des Auslösers nicht möglich ist.

Verabreichen Sie frühzeitig Adrenalin i.m. und wiederholen Sie es gegebenenfalls nach 5 min

Adrenalin ist das wichtigste Medikament zur Behandlung der Anaphylaxie und die Erstlinientherapie laut allen aktuellen Leitlinien für die Anaphylaxie, auf Grund der Alpha- (Vasokonstriktor) und auch der Beta-Agonisten (Bronchodilatator, inotrop, Mastzellstabilisierung) Eigenschaften. Intramuskuläres Adrenalin wirkt innerhalb von Minuten und unerwünschte Wirkungen sind bei korrekter Dosierung äußerst selten. Die beste Stelle für die i.m. Injektion ist der anterolaterale Bereich des mittleren Drittels des Oberschenkels. Die verfügbare Evidenz zu Adrenalin und der empfohlenen Dosis ist schwach und basiert auf Beobachtungsdaten und dem Konsensus von Experten [77, 82, 86]. Die EAACI empfiehlt, Adrenalin (1 mg/ml) intramuskulär in einer Dosis von 0,01 ml/kg Körpergewicht bis zu einer maximalen Gesamtdosis von 0,5 ml zu verabreichen [25]. Diese ERC-Leitlinien empfehlen, basierend auf Expertenmeinungen, eine Dosis von 0,5 mg i.m. bei Erwachsenen. Adrenalinautoinjektoren sind ebenfalls erhältlich – Autoinjektorgeräte sind herstellereigen für die Zubereitung, den Injektionsmechanismus und die Dosisabgabe (0,3 und 0,15 mg sind die häufigsten Dosen). Diese können als Alternative zu Spritze, Nadel und Ampulle verwendet werden. Befolgen Sie die Anweisungen des Herstellers zur Anwendung. Diese ERC-Leitlinie behandelt nicht die Auswahl, Verschreibung, Dosierung und Anweisungen für

den Selbstgebrauch von Adrenalinautoinjektoren durch Personen, bei denen das Risiko einer Anaphylaxie besteht.

Basierend auf der verfügbaren Evidenz hinsichtlich des Wirkungseintritts [52, 87] T, dem unterschiedlichen Effekt der ersten Adrenalindosis, und einem beachteten Bedarf für eine zweite Gabe in etwa 10 bis 30 % der Fälle, unterschiedlichen Reaktionszeiten der Rettungsdienste und internationalen Leitlinien Empfehlungen, empfehlen wir, die i.m. Adrenalingabe zu wiederholen, wenn sich der Zustand des Patienten nach etwa 5 min nicht verbessert [88, 89].

Stellen Sie sicher, dass der Patient liegt, und lassen Sie den Patienten sich nicht plötzlich hinsetzen oder aufstehen.

Beobachtungen aus einer detaillierten Übersicht durch Gerichtsmediziner in UK über 214 einzelne Anaphylaxie Todesfälle, beschreiben einen kardiovaskulären Kollaps bei einigen Personen mit Anaphylaxie außerhalb des Krankenhauses mit klinischen Zeichen der Hypotonie, wenn sie sich aufsetzten oder aufstanden oder man ihnen beim Aufsetzen oder Aufstehen half [90]. Basierend auf dieser begrenzten Evidenz, dem Expertenkonsens und den vorhandenen Leitlinien schlagen wir vor:

- Patienten mit Atemwegs- und Atemproblemen können es vorziehen, sich aufzusetzen, da dies das Atmen erleichtert.
- Bei Patienten mit Hypotonie ist es hilfreich, flach mit oder ohne angehobenen Beinen zu liegen.
- Patienten, die atmen und bewusstlos sind, sollen auf die Seite gelegt werden (Seitenlage).
- Schwangere sollen auf der linken Seite liegen, um ein Vena-Cava-Kompressionssyndrom zu verhindern.

Geben Sie Flüssigkeit intravenös

Eine Anaphylaxie kann durch Vasodilatation, die Umverteilung von Blut zwischen Gefäßkompartimenten und eine Flüssigkeitsextravasation eine Hypotonie verursachen. Die Korrektur von Flüssigkeitsverlusten zusätzlich zu Adrenalin basiert auf Erfahrungen mit der Behandlung von Schock in anderen Situationen wie einer Sepsis [81, 91]. In Übereinstimmung mit diesen Leitlinien empfehlen

wir die Verwendung von entweder balancierten kristalloiden Lösungen oder Bolusgaben von 0,9 % Natriumchlorid und weiteren Gaben abhängig von der hämodynamischen Reaktion. Als erster Flüssigkeitsbolus der Notfalltherapie sollen etwa 500 ml über 5–10 min verabreicht werden [92]. Die Meinung von Experten legt nahe, dass Patienten mit refraktärer Anaphylaxie große Mengen von Flüssigkeit benötigen können [79, 80]. Die Evidenz neuerer Beobachtungsstudien weist darauf hin, dass es bei einer Anaphylaxie zur Beeinträchtigung des Schlagvolumens kommen kann und dass sich dieses bei frühzeitiger Gabe von Flüssigkeiten bessern kann [93].

Verabreichen Sie Sauerstoff

Die Sauerstofftherapie zur Korrektur einer Hypoxämie ist ein Standardbestandteil der Notfalltherapie. Wie in anderen Notfallbedingungen soll Sauerstoff mit hohen Flussraten frühzeitig verabreicht werden. Sobald eine Sauerstoffsättigung mit einem Pulsoxymeter zuverlässig gemessen werden kann, soll der inspiratorische Sauerstoff mit dem Ziel titriert werden, eine Sauerstoffsättigung von 94 bis 98 % zu erreichen [94].

Intravenöses Adrenalin in speziellen Situationen

Intravenöses Adrenalin soll nur von denen eingesetzt werden, die im Gebrauch und Titrieren von Vasopressoren in ihrer klinischen Praxis erfahren sind (basierend auf Expertenmeinung und bestehenden Leitlinien). Patienten, denen Adrenalin intravenös verabreicht wird, müssen überwacht werden – kontinuierliches EKG und Pulsoxymetrie und mindestens mit einer häufigen nichtinvasiven Blutdruckmessung. Titrieren Sie Adrenalin i.v. indem Sie 20- bis 50-Mikrogramm-Boli entsprechend der Reaktion verabreichen [79, 83]. Wenn Adrenalingaben wiederholt erforderlich sind, beginnen Sie mit einer i.v. Adrenalininfusion [79, 80, 83].

Weitere Medikamente zur Unterstützung des Kreislaufs

Mehrere Leitlinien, die auf Expertenmeinungen basieren, empfehlen, Glukagon 1–2 mg i.v. bei einer adrenalinresistenten Anaphylaxie bei Patienten, die Beta-blocker einnehmen, in Betracht zu ziehen [79, 83]. Basierend auf Expertenmeinung

können bei refraktärer Anaphylaxie darüberhinaus andere Vasopressoren wie Vasopressin, Noradrenalin, Metaraminol oder Phenylephrin als Bolusgabe oder Infusion erwogen werden ([79, 80, 83]; australische Leitlinienwebseite [103].

Bedeutung von Steroiden und Antihistaminika beim Notfallmanagement der Anaphylaxie

Es gibt keine Evidenz, die die routinemäßige Anwendung von Steroiden oder Antihistaminika im Rahmen der initialen Notfallbehandlung eines Patienten mit Anaphylaxie unterstützt [78, 82, 95–97]. Sie scheinen das Fortschreiten der Anaphylaxie nicht zu verändern oder eine zweiphasige Reaktionen zu verhindern [76, 98, 99]. Steroide sollen in Betracht gezogen werden, wenn anhaltende asthmaähnliche Symptome vorliegen oder wenn ein refraktärer Schock gemäß den Leitlinien für Asthma und Schock vorliegt.

Überlegungen zum Kreislaufstillstand bei Anaphylaxie

Es gibt keine spezifischen Studien zu erweiterten lebensrettenden Maßnahmen bei Anaphylaxie. Basierend auf Expertenmeinungen befolgen Sie die Standard-ALS-Leitlinien für die Behandlung eines Kreislaufstillstands, einschließlich der Verwendung von Adrenalin i.v. und der Korrektur potenziell reversibler Ursachen (Flüssigkeitsgabe, Sauerstoff; siehe ALS-Leitlinien; [100]). Gegenstand von Kontroversen ist die Effektivität von Thoraxkompressionen bei Patienten mit Kreislaufstillstand auf Grund einer Vasodilatation und zu welchem Zeitpunkt mit Thoraxkompressionen bei engmaschig überwachten Patienten begonnen werden sollte [79, 101]. In einer Fallserie von perioperativen Kreislaufstillständen, die durch eine Anaphylaxie verursacht wurden, überlebten 31 von 40 Patienten (77,5 %) durch ALS-Interventionen und 67 % der Überlebenden benötigten Adrenalin oder Vasopressorinfusionen nach Wiedereinsetzen des Spontankreislaufes (ROSC) [80]. Der Herzrhythmus zum Zeitpunkt des Kreislaufstillstandes war PEA bei 34 (85 %), VF bei 4 (10 %) und Asystolie bei 2 Fällen (5 %).

Bedeutung extrakorporaler Lebenserhaltungssysteme und der extrakorporaler CPR bei Anaphylaxie

Die ILCOR ALS Task Force empfiehlt, dass eine ECPR in Umgebungen, in denen sie durchgeführt werden kann, als Notfallmaßnahme bei ausgewählten Patienten mit Kreislaufstillstand erwogen werden kann, wenn eine konventionelle CPR keinen Erfolg hat (schwache Empfehlung, Evidenz mit sehr geringer Sicherheit; [2, 102]). Expertenmeinung, Fallberichte und klinische Erfahrung unterstützen den Einsatz von Notfall-ECLS oder ECPR bei einem drohenden oder einem refraktärem Kreislaufstillstand bei ausgewählten Patienten.

Nachverfolgung und weitere Untersuchungen

Die weiterführende Behandlung von Patienten mit Anaphylaxie sollte den existierenden Leitlinien des Anaphylaxie-Komitees der Weltallergieorganisation [77], der Europäischen Akademie für Allergie und klinische Immunologie (EAACI; [25]), der North American Practice Parameter [78] und der Australischen Gesellschaft für klinische Immunologie und Allergie (ASCIA) erfolgen [103]. Die Messung der Mastzelltryptase kann helfen, eine Anaphylaxie zu diagnostizieren. Konsens über den optimalen Zeitpunkt für die Messung besteht dahingehend, dass idealerweise drei zeitlich festgelegte Proben entnommen werden sollen [104]:

- Die erste Probe so bald wie möglich nachdem mit der Wiederbelebung begonnen wurde – verzögern Sie die Wiederbelebung nicht, um eine Probe zu entnehmen
- Die zweite Probe 1–2 h nach Beginn der Symptome
- Die dritte Probe entweder nach 24 h oder während der Rekonvaleszenz. Dies liefert einen Basistryptasespiegel – einige Personen haben einen erhöhten Basistryptasepiegel.

Sepsis. Sepsis ist definiert als lebensbedrohliche Organfunktionsstörung, die durch eine gestörte Reaktion eines Wirtes auf eine Infektion verursacht wird. Der septische Schock ist eine Untergruppe der Sepsis mit Kreislauf- und Zell-/Stoffwechselstörungen, die mit einem hö-

heren Mortalitätsrisiko verbunden sind [91].

Dieser Abschnitt befasst sich mit der Versorgung des erwachsenen Patienten auf der Grundlage der Surviving Sepsis Campaign: „Internationale Leitlinien für das Management von Sepsis und septischem Schock“ (2016) und des National Institute of Clinical Excellence [91, 105]. Bitte beachten Sie die pädiatrischen und neonatalen Leitlinien zur Sepsis. Eine Aktualisierung der Leitlinie wurde von der Surviving Sepsis Campaign 2018 veröffentlicht, in der die initiale Versorgung unter dem 1-Stunden-Maßnahmenbündel (Hour-1 Bundle) zusammengefasst wurde [106]. Diese wurde 2019 überarbeitet. Die Startzeit wurde als Zeitpunkt definiert, zu dem die Sepsis erkannt wird (■ Abb. 3).

Prävention eines Kreislaufstillstandes bei Sepsis

Sepsis ist definiert als eine lebensbedrohliche Organdysfunktion, die durch eine gestörte Reaktion eines Wirtes auf eine Infektion verursacht wird. Der septische Schock ist eine Untergruppe der Sepsis mit Kreislauf- und Zell-/Stoffwechselstörungen, die mit einem höheren Mortalitätsrisiko verbunden sind [91].

Die wichtigsten Schritte bei der Erstbehandlung und Behandlung der schweren Sepsis, um einen Kreislaufstillstand bei Erwachsenen zu verhindern sind in ■ Abb. 3 zusammengefasst. Der ERC empfiehlt eine Beurteilung unter Verwendung des ABCDE-Schemas, während es von entscheidender Bedeutung ist, die zugrundeliegende Infektionsquelle zu bekämpfen, um einem Schock, Multiorganversagen und kardiorespiratorischem Versagen vorzubeugen. Sobald unmittelbare lebensbedrohliche Probleme erkannt werden, sollte die Akutversorgung des Patienten sofort beginnen. Sauerstoff sollte mit hoher Flussrate gegeben werden, um die Sauerstoffversorgung im Gewebe zu optimieren. Blutkulturen sollten abgenommen werden, gefolgt von der Verabreichung von Breitbandantibiotika. Der Laktatspiegel sollte gemessen werden. Eine Hypotonie oder eine Laktatmessung von ≥ 4 mmol/l sollten mit der schnellen Verabreichung von 30 ml/kg kristalloider Flüssigkeit

behandelt werden. Die Urinmenge sollte stündlich gemessen werden, um die i.v. Flüssigkeitstherapie zu steuern. Vasopressoren sollten verabreicht werden, wenn der Patient während oder nach der Flüssigkeitsgabe weiter hypoton bleibt, um einen mittleren arteriellen Blutdruck von ≥ 65 mm Hg aufrechtzuerhalten.

Behandlung eines Kreislaufstillstands aufgrund einer Sepsis

Ein Kreislaufstillstand bei einer Person mit schwerer Sepsis kann eine Folge von Hypoxie und kardiovaskulärem Kollaps sein. Behandeln Sie den Kreislaufstillstand bei einem Patienten mit Sepsis oder Verdacht auf Sepsis gemäß den Standard-ALS-Leitlinien.

Hypoxie

Die Behandlung einer Hypoxie bei einem Kreislaufstillstand aufgrund einer Sepsis kann eine Sauerstoffzufuhr mit hoher Flussrate, eine Intubation und mechanische Beatmung erfordern. Die Korrektur von Hypoxie und Hypotonie wird die Sauerstoffversorgung von Geweben und lebenswichtigen Organen optimieren.

Hypovolämie

Eine Sepsis induzierte Hypoperfusion des Gewebes oder ein septischer Schock erfordert eine sofortige Notfalltherapie mit Flüssigkeit. Die initiale Flüssigkeitsgabe sollte eingeleitet werden, unmittelbar nachdem bei einem Patienten mit Sepsis eine Hypotonie und/oder erhöhtes Laktat festgestellt wurde, und binnen 3 Stunden nach Erkennung abgeschlossen sein. Basierend auf Daten aus Beobachtungsstudien wird empfohlen ein Minimum von 30 ml/kg i.v. einer kristalloiden Flüssigkeit zu verabreichen [107, 108]. Basierend auf einer ungenügenden Evidenz, die eine Gabe von kolloidalen im Vergleich zu kristalloiden Lösungen befürworten würde, wird in diesen Leitlinien eine starke Empfehlung für den Einsatz von kristalloiden Lösungen bei der anfänglichen Versorgung von Patienten mit Sepsis und septischem Schock ausgesprochen.

Ziel der Therapie ist es, einen ausreichenden Perfusionsdruck zu den lebenswichtigen Organen wiederherzustellen. Mit der Gabe von Vasopressoren sollte innerhalb der ersten Stunde begonnen werden, wenn der Patient während oder nach der initialen Flüssigkeitstherapie hy-

poton bleibt, um einen mittleren arteriellen Blutdruck (MAP) von ≥ 65 mm Hg zu erreichen [109, 110].

Postreanimationsbehandlung

Infektionsquellen sollen identifiziert und entsprechend behandelt werden. Serumlaktat ist ein Surrogatparameter Ersatzparameter für die Gewebepfusion und kann zur Steuerung der Therapie verwendet werden [111, 112]. Über die initiale Notfalltherapie hinaus ist eine sorgfältige klinische Beurteilung erforderlich, um das Ansprechverhalten auf die Flüssigkeitszufuhr zu beurteilen und eine potenziell schädliche, anhaltend positive Flüssigkeitsbilanz zu vermeiden [113–115].

Ein frühzeitiger Beginn der Behandlung ist erforderlich, um eine Organdysfunktion und einen Kreislaufstillstand zu verhindern. Behandeln Sie einen Kreislaufstillstand bei einem Patienten mit Sepsis oder Verdacht auf Sepsis gemäß den Standard-ALS-Leitlinien. Korrigieren Sie die Hypoxie und behandeln Sie die Hypovolämie und suchen Sie nach anderen potenziell reversiblen Ursachen mithilfe der 4Hs- und der HITS. Vermeiden Sie in der Postreanimationsbehandlung eine anhaltend positive Flüssigkeitsbilanz. Serumlaktat kann bei der Therapieführung hilfreich sein.

Hypo-/Hyperkaliämie und andere Elektrolytstörungen

Elektrolytstörungen sind anerkannte Ursachen für Arrhythmien und Kreislaufstillstand. Störungen des Kaliumhaushaltes, Hyperkaliämie und Hypokaliämie sind die häufigsten Elektrolytstörungen, die mit lebensbedrohlichen Arrhythmien verbunden sind, während Störungen des Kalzium- und Magnesiumhaushaltes seltener auftreten. Das Hauptaugenmerk in diesem Abschnitt liegt auf der Erkennung, Behandlung und Prävention einer Hyperkaliämie.

Dieser Abschnitt basiert auf der Hyperkaliämie-Leitlinie 2020 der britischen Renal Association, in der die GRADE-Methodik für die Qualität der Evidenz verwendet wurde [116]. Es gibt weiterhin nur eine spärliche Evidenz zur medikamentösen Behandlung einer Hyperkaliämie (z. B. i. v. Kalzium und Insulin-Glukose) bei Kreislaufstillstand.

Eine Übersichtsarbeit konnte keine anderen relevanten, qualitativ hochwertigen Empfehlungen zur Behandlung des hyperkaliämischen Kreislaufstillstands oder dem Beginn einer Dialysebehandlung während einer Wiederbelebung finden. In PubMed (1960–2020), Ovid Medline (1946–2020), EMBASE (1974–2020) und The Cochrane Library wurde eine Review unter Verwendung der Schlüsselwörter „Hyperkaliämie“, „Behandlung“, „EKG“ und „Kreislaufstillstand“ durchgeführt (1995–2020). Die Webseitensuche umfasste das Nationale Institut für Exzellenz in Gesundheit und Pflege (NICE), das Scottish Medicines Consortium (SMC), das Healthcare Improvement Scotland, die Regulierungsbehörde für Arzneimittel und Gesundheitsprodukte (MHRA) und die Europäische Arzneimittel-Agentur (EMA).

Hyperkaliämie. Eine Hyperkaliämie tritt bei 1–10 % der Krankenhauspatienten auf, am häufigsten bei Patienten mit vorbestehender Nierenerkrankung oder im Zusammenhang mit einer akuten Nierenschädigung [117–119]. Menschen, die langfristig eine Hämodialyse (HD) erhalten, sind am stärksten von einer Hyperkaliämie bedroht. Sie sind auch anfällig für Herzerkrankungen und zusammen mit Hyperkaliämie kann dies das hohe Risiko eines plötzlichen Herztods bei Patienten mit Erhaltungsdialyse erklären. Die gemeldete Inzidenz variiert zwischen 1 und 13 % der Kreislaufstillstände im Krankenhaus (IHCA; [120–122]).

Definition

Es gibt keine allgemeingültige Definition. Wir haben eine Hyperkaliämie als eine Serumkaliumkonzentration (K^+) von mehr als 5,5 mmol/l definiert, obwohl eine Hyperkaliämie in der klinischen Praxis ein Kontinuum ist. Der Schweregrad der Hyperkaliämie bestimmt das Ansprechen auf die Behandlung. Eine Hyperkaliämie kann als mild (K^+ 5,5–5,9 mmol/l), moderat (K^+ 6,0–6,4 mmol/l) oder schwer (K^+ $\geq 6,5$ mmol/l) eingestuft werden.

Ursachen

Die wichtigsten Ursachen für eine Hyperkaliämie sind:

- Nierenversagen, z. B. akutes Nierenversagen (ANV), chronische Niereninsuffizienz (CNI) oder ein terminales Nierenversagen
- Medikamente, z. B. Angiotensin-Converting-Enzym-Inhibitoren (ACE-I), Angiotensin-II-Rezeptor-Antagonisten (AT-1-Blocker), Mineralokortikoid-Rezeptor-Antagonisten (MRA), nichtsteroidale Antiphlogistika (NSAR), nichtselektive Betablocker, Trimethoprim, Succinylcholin
- Endokrine Störungen, z. B. diabetische Ketoazidose, Morbus Addison
- Gewebeuntergang, z. B. Rhabdomyolyse, Tumorlyse-Syndrom, Hämolyse
- Diät (hohe Kaliumaufnahme bei Patienten mit fortgeschrittener chronischer Niereninsuffizienz)
- Unechte Hyperkaliämie – Erwägen Sie eine Pseudohyperkaliämie bei normaler Nierenfunktion, normalem EKG und/oder hämatologischer Erkrankung in der Vorgeschichte [123]. Eine Pseudohyperkaliämie liegt vor, wenn der Kaliumwert im Serum (zentrifugiertes Blut) den Kaliumwert im Plasma (nicht geronnenes Blut), einer zur gleichen Zeit abgenommenen Blutprobe, um mehr als 0,4 mmol/L K übersteigt [124]. Eine schwierige Venenpunktion, eine zu lange Transportzeit der Probe und schlechte Lagerungsbedingungen können den Kaliumwert verfälschen.

Beim Vorliegen mehrerer Risikofaktoren steigt die Gefahr einer Hyperkaliämie (z. B. gleichzeitige Einnahme von ACE-I und/oder MRA bei gleichzeitiger CNI).

Diagnose

Denken Sie bei allen Patienten mit Herzrhythmusstörungen oder Kreislaufstillstand an eine Hyperkaliämie, vor allem bei gefährdeten Patienten (z. B. Nierenversagen, Herzinsuffizienz, Diabetes mellitus, Rhabdomyolyse).

Diese Symptome können fehlen oder durch die Grunderkrankung, die die Hyperkaliämie verursacht, überlagert sein. Das Vorhandensein von Schwäche der Gliedmaßen, schlaffer Lähmung oder Parästhesie sind jedoch Indikatoren für eine schwere Hyperkaliämie. Nutzen Sie Point-of-Care-Testverfahren (z. B.

mittels Blutgasanalyse), um eine Hyperkaliämie zu detektieren. Da die Analyse von Proben im Labor einige Zeit braucht, können klinische Entscheidungen mithilfe von Point-of-Care-Tests getroffen werden [19, 125–128]. Bei Patienten, bei denen eine Hyperkaliämie vermutet wird oder bekannt ist, nutzen Sie das EKG, das am einfachsten verfügbar sein wird, um die kardiale Toxizität zu beurteilen und Herzrhythmusstörungen zu erkennen. Wenn die Diagnose einer Hyperkaliämie anhand des EKG gestellt werden kann, kann eine Behandlung bereits begonnen werden, bevor eine Serumanalyse verfügbar ist.

Bei einer Hyperkaliämie kommt es normalerweise zu folgenden zunehmenden EKG-Veränderungen:

- AV-Block I. Grads (verlängertes PR-Intervall > 0,2 s)
- Abgeflachte oder fehlende P-Wellen
- Hohe, spitze (zeltförmige) T-Wellen (d. h. die T-Welle ist in mehr als einer Ableitung höher als die R-Zacke)
- ST-Strecken-Senkung
- Verbreiteter QRS-Komplex (> 0,12 s)
- Ventrikuläre Tachykardie
- Bradykardie
- Kreislaufstillstand (PEA, VF/pVT, Asystolie)

Das Auftreten von EKG-Veränderungen scheint mit dem Schweregrad der Hyperkaliämie zu korrelieren. Bei 15 % der Patienten mit schwerer Hyperkaliämie ($K^+ \geq 6,5$ mmol/l) kommt es innerhalb von sechs Stunden nachdem ein EKG abgeleitet wurde, zu einer Herzrhythmusstörung oder einem Kreislaufstillstand, bevor eine Behandlung eingeleitet wird [129]. Allerdings ist auch bekannt, dass das EKG selbst bei einer schweren Hyperkaliämie unauffällig sein kann und dass im EKG der erste Hinweis auf eine Hyperkaliämie eine Herzrhythmusstörung oder ein Kreislaufstillstand sein kann [116].

Behandlung

Es gibt fünf entscheidende Maßnahmen bei der Behandlung einer Hyperkaliämie [116]:

1. Herzprotektion
2. Kalium in die Zellen verschieben
3. Kalium aus dem Körper entfernen

4. Kalium- und Glukosespiegel im Serum kontrollieren
5. Das Wiederauftreten einer Hyperkaliämie verhindern

Folgen Sie einer systematischen Handlungsweise, so wie sie im Hyperkaliämie-Behandlungsalgorithmus (■ Abb. 4) beschrieben ist. Untersuchen Sie den Patienten mithilfe des ABCDE-Schemas und beurteilen Sie das Ausmaß einer Hyperkaliämie mithilfe von sofort durchzuführenden Analysen des Serumkaliumwerts und eines EKG. Die Behandlung orientiert sich am Ausmaß der Hyperkaliämie und dem Vorhandensein von EKG-Veränderungen. Eine Monitorüberwachung ist bei Patienten mit schwerer Hyperkaliämie unentbehrlich. Überlegen Sie, ob eine frühzeitige Überweisung an einen Spezialisten oder auf eine Intensivstation notwendig ist. Die Behandlung einer leichten Hyperkaliämie ist nicht Thema dieser Leitlinie.

Kalzium (Kalziumchlorid oder Kalziumgluconat) i.v. ist indiziert, wenn es bei einer schweren Hyperkaliämie zu EKG-Veränderungen kommt. Obwohl es keine starke Evidenz für diese Behandlung gibt, ist allgemein anerkannt, dass dadurch Herzrhythmusstörungen und ein Kreislaufstillstand verhindert werden können [130]. Die größte Gefahr bei dieser Behandlung ist eine Gewebsnekrose, wenn es zu einem Extravasat bei der Injektion kommt. Der i.v. Zugang muss daher vor der Gabe von Kalzium auf korrekte Lage hin überprüft werden.

Insulin und Glukose sind die effektivste und zuverlässigste Therapie, um den Serumkaliumwert durch eine Verlagerung von Kalium in die Zellen zu senken. Allerdings mehrten sich Berichte, die auf das Risiko einer Hypoglykämie hinweisen, zu der es in bis zu 28 % der Fälle kommen kann. Studien, in denen eine niedrige dosierte Insulingabe (5 I.E.) mit der üblichen Dosis Insulin (10 I.E.) verglichen wurde, beobachteten bei 8,7–19,7 % der Patienten eine Hypoglykämie. In zwei Studien wurde von einem offensichtlichen dosisabhängigen Effekt berichtet. Dabei hatte die Gabe von 10 I.E. Insulin eine bessere Wirkung als 5 I.E. Insulin [131]. Durch die Gabe von 50 g Glukose wird das Risiko ei-

ner Hypoglykämie verringert [132]. Zudem wurde beobachtet, dass es unter einer kontinuierlichen Glukosegabe seltener zu Hypoglykämien kommt, weswegen dieses Vorgehen bei Patienten mit einem hohen Hypoglykämierisiko praktiziert wurde. Das Risiko für eine Hypoglykämie ist grundsätzlich erhöht, wenn der Blutzuckerspiegel vor der Behandlung niedrig ist [133–139]. Um das Risiko einer Hypoglykämie zu verringern, behandeln Sie eine mittelschwere oder schwere Hyperkaliämie bei Patienten, bei denen der Ausgangswert des Blutzuckerspiegels unter 7,0 mmol/l liegt, indem Sie 10 I.E. Insulin sowie 25 g Glukose verabreichen und anschließend Glukose 10 % kontinuierlich über einen Zeitraum von 5 h (25 g Glukose) infundieren [116].

Salbutamol ist ein Beta-2-Adrenozeptoragonist, der die Verschiebung von Kalium nach intrazellulär fördert. Die Wirkung ist dosisabhängig, bei Patienten mit Herzerkrankungen wird jedoch empfohlen, die Dosis zu verringern. Salbutamol kann bei einigen Patienten, insbesondere bei solchen, die nichtselektive Beta-blocker einnehmen, und bei bis zu 40 % der Patienten mit einer terminalen Niereninsuffizienz, unwirksam sein. Daher soll es nicht als alleinige Therapie eingesetzt werden. Die Kombination von Salbutamol mit Insulin-Glukose ist wirksamer als jede Behandlung für sich allein [140–142].

Die neuen Kaliumbindemittel SZC (Natrium-Zirkonium-Zylosilikat; [143]) und das Kationenaustauschpolymer Patiromer [144] sind in Europa zur enteralen Behandlung einer lebensbedrohlichen Hyperkaliämie (Serum-Kalium $\geq 6,5$ mmol/l) zugelassen. SZC wirkt innerhalb von einer Stunde [145] und senkt das Serum-Kalium innerhalb von 48 h um 1,1 mmol/l [146]. Die Wirksamkeit steigt mit dem Ausmaß der Hyperkaliämie. Bei Patienten mit einem Serum-Kalium von $> 6,0$ mmol/l senkt SZC das Serum-Kalium innerhalb von 48 h um 1,5 mmol/l [146]. SZC normalisiert Serum-Kalium bei 66 % der Patienten innerhalb von 24 h, bei 75 % innerhalb von 48 h und bei 78 % der Patienten innerhalb von 72 h [147]. Die Wirkung von Patiromer setzt verzögert nach 4–7 h ein und senkt das Serum-Kalium inner-

Tab. 2 Störungen des Kalzium- und Magnesiumhaushalts mit dem dazugehörigen klinischen Bild, EKG-Veränderungen und der empfohlenen Therapie

Störung	Ursachen	Klinisches Bild	EKG	Therapie
Hyperkalzämie Kalzium > 2,6 mmol/l	Primärer oder tertiärer Hyperparathyreoidismus Malignität Sarkoidose Medikamente	Verwirrtheit Schwäche Bauchschmerzen Hypotonie Herzrhythmusstörungen Kreislaufstillstand	Kurzes QT-Intervall Verbreiteter QRS-Komplex Flache T-Wellen AV-Block Kreislaufstillstand	Flüssigkeitsersatz i.v. Furosemid 1 mg/kg i.v. Hydrokortison 200–300 mg i.v. Pamidronat 30–90 mg i.v. Behandeln Sie die zugrundeliegende Ursache
Hypokalzämie Kalzium < 2,1 mmol/l	Chronische Niereninsuffizienz Akute Pankreatitis Kalziumkanalblockerüberdosierung Toxisches Schocksyndrom Rhabdomyolyse Tumorlysesyndrom	Parästhesie Tetanie Anfälle AV-Block Kreislaufstillstand	Verlängertes QT-Intervall T-Wellen-Inversion Erregungsausbreitungsstörung Kreislaufstillstand	Kalziumchlorid 10 % 10–40 ml i.v. Magnesiumsulfat 50 % 4–8 mmol i.v. (falls erforderlich)
Hyper-magnesiämie Magnesium > 1,1 mmol/l	Nierenversagen iatrogen	Verwirrtheit Schwäche Atemdepression AV-Block Kreislaufstillstand	Verlängerte PR- und QT-Intervalle Spitze T-Welle AV-Block Kreislaufstillstand	Erwägen Sie eine Behandlung, wenn Magnesium > 1,75 mmol/l: 5–10 ml Kalziumchlorid 10 % i.v., gegebenenfalls wiederholen Förderung der Diurese durch Gabe isotoner Kochsalzlösung und Furosemid 1 mg/kg i.v. Hämodialyse Gegebenenfalls nichtinvasive oder invasive Beatmung
Hypo-magnesiämie Magnesium < 0,6 mmol/l	Gastrointestinale Verluste Polyurie Mangelernährung, Fasten Alkoholkrankheit Malabsorption	Tremor Ataxie Nystagmus Epileptische Anfälle Herzrhythmusstörungen – Torsades de Pointes Kreislaufstillstand	PR- und QT-Intervall verlängert ST-Strecken-Senkung T-Wellen-Inversion Abgeflachte P-Wellen Verbreiteter QRS-Komplex Torsades de pointes	Schwer oder symptomatisch: 2 g Magnesiumsulfat 50 % (4 ml; 8 mmol) i.v. über 15 min Torsades de pointes: 2 g Magnesiumsulfat 50 % (4 ml; 8 mmol) i.v. über 1–2 min Epileptische Anfälle: 2 g Magnesiumsulfat 50 % (4 ml; 8 mmol) IV über 10 min

Tab. 3 Stadien der akzidentellen Hypothermie [6]

Stadien	Klinischer Befund	Körperkerntemperatur (°C), falls verfügbar
Hypothermie Grad I (mild), Exzitation (Abwehrstadium)	Patient ist bei Bewusstsein, hat Muskelzittern ^a	35–32
Hypothermie Grad II (moderat), Adynamie (Erschöpfungsstadium)	Das Bewusstsein ist getrübt ^a ; Muskelzittern kann vorliegen oder aufhören	< 32–28
Hypothermie Grad III (schwer), Lähmung	Bewusstlos ^a ; Vitalfunktionen erhalten	< 28
Hypothermie Grad IV (massiv)	Scheintod; keine Vitalzeichen	Variabel ^b

^aMuskelzittern und Bewusstsein können unabhängig von der Körperkerntemperatur durch Begleiterkrankungen (d. h. Trauma, ZNS-Erkrankungen, Vergiftung usw.) oder durch Medikamente (d. h. Beruhigungsmittel, Muskelrelaxanzien, Betäubungsmittel usw.) beeinträchtigt sein

^bDas Risiko eines Kreislaufstillstands steigt bei < 32 °C. Für ältere und kranke Menschen ist das Risiko erhöht. Andere Ursachen sollen in Betracht gezogen werden. Bei einigen Patienten sind Vitalfunktionen auch bei < 24 °C noch erhalten [175]

halb von 72 h um 0,36 mmol/l [148]. Im Notfallmedizinischen Kontext waren Pilotstudien für beide Medikamente nicht aussagekräftig [149, 150]. Beide Medikamente können bei Patienten mit anhaltender mittelschwerer Hyperkali-

ämie eingesetzt werden. Allerdings gibt es für diese Substanzen bei Patienten mit chronischer Niereninsuffizienz (Stadium CKD 3b–5, nicht unter Dialyse) oder mit Herzinsuffizienz, die mit einer suboptimalen Dosis eines ACE-I oder

mit AT-1-Blocker behandelt werden, nur eine eingeschränkte Empfehlung. Ionenaustauscherharze, z. B. Kalzium-Resonium können bei allen Patienten in Betracht gezogen werden, die diese Kriterien nicht erfüllen. Beachten Sie die lokal geltenden Vorgaben für den Einsatz von Kaliumbindemitteln.

Eine lückenlose Überwachung von Serum-Kalium und Blutzucker ist essenziell, um den Effekt der Behandlung zu beurteilen und um eine Hypoglykämie nicht zu übersehen. Die Wirkung von Glukose/Insulin und Salbutamol hält etwa 4–6 h lang an, danach muss mit einem erneuten Auftreten einer Hyperkaliämie gerechnet werden.

Indikationen zur Dialyse

Die Dialyse ist die effektivste Methode zur Behandlung einer Hyperkaliämie. Die wichtigsten Indikationen für eine Dialyse bei Patienten mit Hyperkaliämie sind:

- Schwere, lebensbedrohliche Hyperkaliämie mit oder ohne EKG-Veränderungen oder Herzrhythmusstörungen
- Hyperkaliämie, die auf die medikamentöse Behandlung nicht anspricht
- Terminale Niereninsuffizienz
- Akutes, oligurisches Nierenversagen (Urinausscheidung < 400 ml/Tag)
- Massiver Gewebeuntergang (z. B. Rhabdomyolyse)

Es hat sich gezeigt, dass verschiedene Methoden einer Dialyse bei einem Kreislaufstillstand sicher und effektiv durchführbar sind, eine entsprechende Expertise und die erforderliche medizintechnische Ausstattung müssen aber vorhanden sein [151–155]. Das Vorgehen, wie bei einem Kreislaufstillstand eine Hämodialyse durchgeführt wird, ist in der Hyperkaliämie-Leitlinie (2020) der Gesellschaft für Nephrologie (UK) beschrieben [116]. Im Anschluss an eine Dialyse kann es zu einem Wiederauftreten einer Hyperkaliämie kommen.

Hypokaliämie. Im klinischen Alltag ist eine Hypokaliämie eine häufige Elektrolytstörung. Sie ist mit einer erhöhten Krankenhaussterblichkeit und einem erhöhten Risiko ventrikulärer Herzrhythmusstörungen assoziiert [156–158]. Bei Patienten mit vorbestehender Herzerkrankung und bei einer Behandlung mit Digoxin ist das Risiko von Zwischenfällen erhöht [158–160].

Definition

Eine Hypokaliämie ist als ein Serumkaliumwert < 3,5 mmol/l definiert. Das klinische Erscheinungsbild und die Behandlung hängt vom Schweregrad ab: leicht (Kalium 3,0–3,4 mmol/l), mittel (Kalium 2,5–2,9 mmol/l) oder schwer (Kalium < 2,5 mmol/l oder symptomatisch; [160]).

Ursachen

Die wichtigsten Ursachen für Hypokaliämie sind:

- Gastrointestinale Verluste, z. B. Durchfall, Abführmittelabusus, Dickdarmpolypen (villöses Adenom)
- Medikamente, z. B. Diuretika, Abführmittel, Steroide
- Behandlung einer Hyperkaliämie (Insulin/Glucose, Salbutamol)

- Nierenverluste, z. B. tubuläre Nierenerkrankungen, Diabetes insipidus
- Verluste im Rahmen einer Dialyse, z. B. Peritonealdialyse, Therapie nach Hämodialyse
- Magnesiummangel
- Metabolische Alkalose
- Endokrinologische Erkrankungen, z. B. Cushing-Syndrom, primärer Hypoaldosteronismus
- Unzureichende Aufnahmen mit der Ernährung

Erkennen

Denken Sie bei allen Patienten mit Herzrhythmusstörungen oder Kreislaufstillstand an eine Hypokaliämie. Bei sinkendem Kaliumspiegel im Serum sind vor allem die Nerven und Muskeln betroffen, was zu Müdigkeit, Schwäche, Beinkrämpfen und Verstopfung führt. Eine leichte Hypokaliämie ist normalerweise asymptomatisch, bei schweren Fällen (K^+ < 2,5 mmol/l) kann es jedoch zu Rhabdomyolyse, aufsteigender Lähmung, Atembeschwerden und Herzrhythmusstörungen kommen [160].

EKG-Veränderungen bei Hypokaliämie:

- U-Wellen
- T-Wellen-Abflachung
- Verlängerter PR-Abstand
- ST-Streckenveränderungen (ST-Strecken-Senkung, T-Wellen-Inversion)
- Herzrhythmusstörungen (insbesondere bei Patienten, die Digoxin einnehmen)
- Kreislaufstillstand (PEA, VF/pVT, Asystolie)

Behandlung

Es gibt vier entscheidende Maßnahmen bei der Behandlung einer Hypokaliämie:

1. Normalisieren des Kaliumspiegels (die Substitutionsgeschwindigkeit und die Art und Weise der Zufuhr richten sich nach der klinischen Dringlichkeit)
2. Suchen Sie nach Ursachen, die die Hypokaliämie verschlimmern (z. B. Digoxintoxizität, Hypomagnesiämie)
3. Überwachen Sie den Kaliumspiegel im Serum (passen Sie die Substitution nach Bedarf an)
4. Verhindern Sie ein Wiederauftreten (Ursache ermitteln und beseitigen)

Die Behandlung richtet sich nach dem Ausmaß der Hypokaliämie und dem Vorhandensein von Symptomen und/oder EKG-Veränderungen. Kalium soll vorzugsweise langsam zugeführt werden, aber im Notfall ist eine schnelle i.v. Gabe erforderlich.

- Die Standardinfusionsrate für Kalium beträgt 10 mmol/h. Die maximale Zufuhrgeschwindigkeit beträgt 20 mmol/h; bei Herzrhythmusstörungen mit Instabilitätszeichen oder einem drohenden Kreislaufstillstand kann es aber indiziert sein, Kalium zügig zu infundieren (z. B. 2 mmol/min für 10 min, gefolgt von 10 mmol über 5–10 min).
- Ein kontinuierliches EKG-Monitoring ist unerlässlich, idealerweise auf einer Überwachungs- oder Intensivstation.
- Kontrollieren Sie den Kaliumspiegel engmaschig und passen Sie Substitution dem Serumkaliumspiegel an.

Magnesium ist für die Kaliumaufnahme und für die Aufrechterhaltung der intrazellulären Kaliumkonzentration, vor allem im Myokard, von Bedeutung. Ein Magnesiummangel ist bei Patienten mit Hypokaliämie häufig. Eine Aufsättigung mit Magnesium ist hilfreich, um eine Hypokaliämie schneller korrigieren zu können [161]. Kommt es zeitgleich zur Hypomagnesiämie und Hypokaliämie, verabreichen Sie 4 ml Magnesiumsulfat 50 % (8 mmol), verdünnt in 10 ml NaCl 0,9 % über 20 min, und danach Kalium (40 mmol KCl in 1000 ml 0,9 % NaCl) mit einer an die Dringlichkeit angepassten Substitutionsrate, wie zuvor beschrieben. Anschließend fahren Sie mit der Magnesiumsubstitution fort [160].

Störungen des Kalzium- und Magnesiumhaushalts. Das Erkennen und die Therapie von Störungen des Kalzium- und Magnesiumhaushalts sind in [Tab. 2](#) zusammengefasst.

Hypothermie

Eine akzidentelle Hypothermie ist definiert als ein unwillkürlicher Abfall der Körperkerntemperatur < 35 °C. Bei einer schweren Unterkühlung können

Tab. 4 Parameter, mit denen nach dem Hypothermia-Outcome-Prediction-after-ECLS(HOPE)-Score eine Aussage der Überlebenswahrscheinlichkeit für Patienten mit hypothermiebedingtem Kreislaufstillstand gemacht werden kann

	Definition der Parameter und wann sie erfasst werden sollen
Alter (Jahre)	Am Einsatzort oder im Krankenhaus
Geschlecht	Am Einsatzort oder im Krankenhaus
Körperkern-temperatur (°C/°F)	Erste Messung bei Krankenhausaufnahme
Serumkalium (mmol/L)	Erste Messung bei Krankenhausaufnahme
Phasen einer Asphyxie	Asphyxie (Kopf vollständig unter Wasser oder vollständig mit Schnee bedeckt) UND Kreislaufstillstand zum Zeitpunkt der Bergung Keine Asphyxie: Eintauchen ins Wasser, Exposition im Freien oder in Innenräumen Am Einsatzort aufgezeichnete Daten
Dauer der Wiederbelebung (min)	Von Beginn der manuellen Wiederbelebensmaßnahmen zum erwarteten Beginn einer extrakorporalen Kreislaufunterstützung (ECLS). Es ist zu erwarten, dass Parameter von der präklinischen Behandlung und nachdem eine extrakorporale Kreislaufunterstützung (ECLS) etabliert wurde, verfügbar sind

CPR kardiopulmonale Wiederbelebung, ECLS extrakorporale Kreislaufunterstützungssystem

die Vitalfunktionen bis hin zum Kreislaufstillstand beeinträchtigt sein. Die entscheidenden Maßnahmen bei hypothermen Patienten mit erhaltenem Spontankreislauf sind Schutz vor weiterem Wärmeverlust, Einschätzung der Dringlichkeit der Behandlung, Zuweisung in eine geeignete Behandlungseinheit oder -einrichtung und Wiedererwärmung. Kommt es bei hypothermen Patienten zum Kreislaufstillstand, kann selbst dann, wenn es längere No-flow- oder Low-flow-Phasen (d.h. CPR) gegeben hat, mit einer ununterbrochenen, konventionellen oder extrakorporalen Wiederbelebung (CPR/ECPR) ein Überleben mit gutem neurologischen Ergebnis erreicht werden, wenn die Hypothermie vor Eintritt des Kreislaufstillstands bestanden hat. Diese Leitlinien helfen, die Einschätzung der Dringlichkeit, den Transport, die Behandlung und das innerklinische Management von Patienten mit Hypothermie zu verbessern.

Am 22. Februar 2020 wurde eine PubMed-Recherche zu den Schlüsselwörtern „Lawine“ UND „Rettung“ ($n=100$) durchgeführt. Dabei wurden vier systematische Übersichtsarbeiten gefunden [162–165]. Die relevanten Publikationen aus den systematischen Übersichtsarbeiten wurden eingeschlossen und die Literatur mit Blick auf weitere Veröffentlichungen überprüft.

Akzidentelle Hypothermie.

Einem Kreislaufstillstand vorbeugen

Eine akzidentelle Hypothermie ist definiert als der unwillkürliche Abfall der Körperkerntemperatur unter 35 °C [5,6]. Kommt es infolge einer Kälteexposition zur Unterkühlung, handelt es sich um eine primäre Hypothermie, wohingegen bei einer sekundären Hypothermie Erkrankungen und andere äußere Umstände die Unterkühlung verursachen. Zur primären, exogen bedingten, Hypothermie kommt es vor allem im Freien (Sportler und orientierungslose Personen) und in städtischen Gebieten (Obdachlose und Betrunkene/Intoxikierte), während es in häuslicher Umgebung bei alten und multimorbiden Menschen immer häufiger zu einer sekundären, endogen bedingten Hypothermie kommt [166, 167].

Messen Sie die Temperatur mit einem Hypothermiethermometer, das für niedrige Temperaturen geeignet ist (Abb. 5; [168, 169]):

- Tympanale Temperaturmessung bei spontan atmenden Patienten
- Ösophageale Temperaturmessung bei Patienten, die endotracheal intubiert sind oder bei denen eine supraglottische Atemwegshilfe der 2. Generation zur Ventilation genutzt wird.
- Wird das Ohr nicht sorgfältig von Schnee und kaltem Wasser befreit oder wird es nicht vor der kalten

Umgebung geschützt, kann der Messwert um mehrere Grad Celsius falsch niedrig gemessen werden [170, 171].

Bei einer akzidentellen Hypothermie nehmen die Vitalfunktionen allmählich ab, bis sie schließlich vollständig sistieren (Tab. 3). Hypotherme Patienten sollen so wenig wie möglich einer kalten Umgebung ausgesetzt sein und durch Isolationsmaßnahmen vor ihr geschützt und so schnell wie möglich in das nächstgelegene, geeignete Krankenhaus zur Wiedererwärmung transportiert werden. Ein Wiedererwärmen ist während kurzer Transportzeiten (z. B. <1 h) nicht möglich [6, 172, 173]. Hypotherme Patienten mit Instabilitätszeichen in der Präklinik (d.h. systolischer Blutdruck <90 mm Hg, ventrikuläre Herzrhythmusstörungen, Körperkerntemperatur <30 °C) sollen in einem Krankenhaus mit minimal-invasiven Techniken wiedererwärmt werden. Wenn möglich sollen sie unmittelbar in eine Klinik mit ständig verfügbarem extrakorporalen Kreislauf (ECLS) transportiert werden. Eine extrakorporale Kreislaufunterstützung soll nur dann initiiert werden, wenn es zum Kreislaufstillstand kommt oder der Zustand sich verschlechtert (z. B. Blutdruckabfall, zunehmende Azidose; [6, 83]). Eine primäre Wiedererwärmung mithilfe eines extrakorporalen Kreislaufunterstützungssystems (ECLS) soll auch bei Patienten mit einem etCO₂ <10 mm Hg oder einem systolischen Blutdruck ≤ 60 mm Hg erwogen werden [174].

Behandlung bei Kreislaufstillstand

Die bislang niedrigste Körperkerntemperatur, bei der eine Wiederbelebung und Wiedererwärmung erfolgreich war, beträgt 11,8 °C [176] bei einer akzidentellen und 4,2 °C bei einer kontrollierten Hypothermie [177]. Laut einer kürzlich publizierten systematischen Übersichtsarbeit ist es nur bei fünf Patienten (28–75 Jahre) mit einer Körperkerntemperatur >28 °C zu einem Kreislaufstillstand gekommen, was nahelegt, dass ein Kreislaufstillstand bei einer primären Hypothermie mit einer Körperkerntemperatur >28 °C möglich, aber unwahrscheinlich ist [164].

Bei einer Körperkerntemperatur $< 24^{\circ}\text{C}$ können immer noch minimale Vitalzeichen vorhanden sein [175]. Wiederbelebungsversuche sollen daher selbst bei noch niedrigeren Körperkerntemperaturen nicht unterbleiben, wenn es nach klinischer Einschätzung eine Chance auf eine erfolgreiche Wiederbelebung gibt.

Eine stark unterkühlte Person kann tot erscheinen, aber durch Wiederbelebungsmaßnahmen dennoch überleben. Suchen Sie eine Minute lang nach Lebenszeichen – untersuchen Sie dabei nicht nur klinisch, sondern setzen Sie auch EKG, EtCO₂ und Ultraschall ein [6, 83]. Bei einem hypothermiebedingten Kreislaufstillstand, sollen die Parameter bestimmt werden, mit denen die Überlebenschance mithilfe des HOPE- oder ICE-Scores oder mithilfe der traditionellen Kaliumtriage eingeschätzt werden kann [162, 163, 178, 179]:

- Körperkerntemperatur
- Ursachen einer Hypothermie
- Dauer von Wiederbelebungsmaßnahmen
- Geschlecht
- Bezeugter/nichtbezeugter Kreislaufstillstand
- Erster abgeleiteter Rhythmus
- Trauma, um zu entscheiden, ob eine Wiedererwärmung mithilfe einer extrakorporalen Zirkulation (ECLS) mit Heparin begonnen werden soll
- Serumkalium (im Krankenhaus)

Diese Informationen sind entscheidend für eine Prognoseeinschätzung und um zu entscheiden, ob der Patient mithilfe der extrakorporalen Zirkulation (ECLS) wiedererwärmt werden soll. Für einen hypothermiebedingten Kreislaufstillstand ist der HOPE-Score (Hypothermia Outcome Prediction durch ECLS-Wiedererwärmung bei Patienten mit hypothermiebedingtem Kreislaufstillstand) am besten validiert. Die Internetseite zur Berechnung des HOPE-Score kann unter folgender Adresse aufgerufen werden: <https://www.hypothermiascore.org>.

Unterkühlte Patienten, die beobachtet oder unbeobachtet einen Kreislaufstillstand erleiden, haben gute Chancen auf eine erfolgreiche Wiederbelebung mit gutem neurologischen Ergebnis, wenn die Unterkühlung eingetreten ist, bevor

es zu einer Hypoxie und einem Kreislaufstillstand gekommen ist und die Überlebenskette gut funktioniert hat [6, 164, 180–183]. Der Sauerstoffbedarf des Körpers sinkt bei Hypothermie (6–7% pro 1°C sinkender Körpertemperatur) und schützt dadurch die sauerstoffempfindlichsten Organe – Gehirn und Herz – vor hypoxiebedingten Schäden [184]. Eine aktuell publizierte Übersichtsarbeit zu unterkühlten Patienten, bei denen der Eintritt der Kreislaufstillstands bezeugt wurde ($n = 214$), hat gezeigt, dass 73% der Patienten aus dem Krankenhaus entlassen werden, 89% mit gutem Ergebnis. Eine weitere Übersichtsarbeit zu unterkühlten Patienten, bei denen der Eintritt des Kreislaufstillstands nicht beobachtet wurde ($n = 221$), fand eine Überlebensrate von 27%; 83% waren neurologisch unauffällig. Bemerkenswert dabei ist, dass bei 48% der Überlebenden der erste abgeleitete Rhythmus eine Asystolie war [165]. Unterkühlte Patienten, bei denen es zu einem Kreislaufstillstand kommt, sollen ununterbrochen wiederbelebt werden, bis ein Kreislauf wieder hergestellt ist. Die Frequenz der Thoraxkompressionen und der Beatmung soll wie beim Standard-ALS-Algorithmus normothermer Patienten sein. Bei einem hypothermiebedingten Kreislaufstillstand sind Defibrillation und Adrenalin häufig ohne Effekt. Bei einer Körperkerntemperatur $> 24^{\circ}\text{C}$ können Defibrillationsversuche erfolgreich sein; ein wiedereinsetzender Kreislauf (ROSC) ist jedoch bei niedriger Temperatur instabil [185].

Herzwirksame Medikamente, der Versuch das Herz mittels Schrittmacher zu stimulieren und die Defibrillation sind bei einem unterkühlten Herz möglicherweise wirkungslos. Medikamente werden langsamer metabolisiert, was dazu führt, dass bei jedem verabreichten Medikament möglicherweise toxische Plasmakonzentrationen erreicht werden [6]. Es gibt nur wenige, hauptsächlich aus Tierversuchen abgeleitete Erkenntnisse über die Wirksamkeit von Arzneimitteln bei schwerer Unterkühlung. Zum Beispiel ist die Wirksamkeit von Amiodaron bei einem Kreislaufstillstand bei schwerer Hypothermie verringert [186]. Adrenalin führt möglicherweise zu einer

Erhöhung des koronaren Perfusionsdrucks, das Überleben verbessert sich aber nicht [187, 188]. Vasopressoren können auch die Wahrscheinlichkeit auf eine erfolgreiche Defibrillation erhöhen, aber bei einer Körperkerntemperatur $< 30^{\circ}\text{C}$ degradiert ein Sinusrhythmus häufig wieder zu VF. Da Defibrillation und Adrenalin das Myokard schädigen können, ist es sinnvoll, mit der Gabe von Adrenalin und anderen Medikamenten, die im Rahmen von Wiederbelebungsmaßnahmen verabreicht werden, sowie mit Defibrillationsversuchen zurückhaltend zu sein, bevor der Patient auf eine Körperkerntemperatur von $\geq 30^{\circ}\text{C}$ wiedererwärmt worden ist. Sobald eine Temperatur von 30°C erreicht worden ist, sollen die Intervalle zwischen den Medikamentengaben im Vergleich zur Normothermie (d.h. Adrenalin alle 6–10 min) verdoppelt werden. Wenn die Körperkerntemperatur wieder annähernd normal ist ($\geq 35^{\circ}\text{C}$), werden Medikamente wieder dem üblichen Standard entsprechend verabreicht [5, 6].

Unterkühlte Patienten mit Kreislaufstillstand sollen, wenn möglich, direkt in ein Zentrum transportiert werden, in dem eine extrakorporale Zirkulation (ECLS) zur Wiedererwärmung möglich ist. Handelt es sich um eine primäre Hypothermie, ist ein nichtbeobachteter Kreislaufstillstand mit einer Asystolie als erstem abgeleiteten Rhythmus keine Kontraindikation für eine Wiedererwärmung mittels ECLS [165]. Bei einem hypothermiebedingten Kreislaufstillstand soll eine Wiedererwärmung mithilfe einer ECLS durchgeführt werden, vorzugsweise mit einer extrakorporalen Membranoxygenation (ECMO) und nicht mittels kardiopulmonalem Bypass (CPB; [6, 189, 190]). Kann eine ECLS nicht innerhalb von 6 h etabliert werden, kann eine Wiedererwärmung ohne ECLS durchgeführt werden [183, 191, 192]. Wenn der Transport lange dauert oder eine Rettung aus schwerem Gelände erforderlich ist, wird der Einsatz einer mechanischen Reanimationshilfe empfohlen. Bei Patienten mit einem hypothermiebedingten Kreislaufstillstand und einer Körperkerntemperatur von $< 28^{\circ}\text{C}$, ist es statthaft, Wiederbelebungsmaßnahmen zu verzögern, wenn es zu

gefährlich ist, diese durchzuführen, und sie zu unterbrechen, wenn eine kontinuierliche Durchführung nicht möglich ist (▣ Abb. 6; [193]).

Innerklinisch soll eine Vorhersage, ob eine Wiedererwärmung erfolgreich sein kann, mithilfe des HOPE- oder ICE-Scores (▣ Tab. 4) getroffen werden. Innerklinisch ist eine Vorhersage, die sich auf die traditionelle Kaliummethode stützt, weniger zuverlässig [162, 163, 178].

Es wird empfohlen, dass die Behandlung nach einer Reanimation entsprechend eines Maßnahmenbündels erfolgt. Rettungsdienste (EMS) und Krankenhäuser sollen strukturierte Protokolle etablieren, um die präklinische Einschätzung, den Transport und die Behandlung sowie das Management unterkühlter Patienten im Krankenhaus zu verbessern.

Lawinenrettung. Die meisten Lawinopfer ersticken [194, 195]. Lawinopfer, die einen unbezeugten Kreislaufstillstand erleiden, haben geringe Überlebenschancen [194–196]. Kommt es in den ersten Minuten der Wiederbelebungsmaßnahmen zum Wiedereinsetzen eines Spontankreislaufs (ROSC), verbessern sich die Chancen auf ein Überleben mit gutem Ergebnis [162, 163, 195]. Bei Patienten mit Kreislaufstillstand sollen initial fünf Beatmungen durchgeführt werden, da eine Hypoxie die wahrscheinlichste Ursache für den Kreislaufstillstand ist. Lawinopfer, die einen Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses (OHCA) und die < 60 min verschüttet waren, sollen wie normotherme Patienten behandelt werden (▣ Abb. 7). Standardisierte, erweiterte Wiederbelebungsmaßnahmen sollen mindestens 20 min durchgeführt werden [83, 197, 198]. Bei Lawinopfern, die > 60 min verschüttet waren, ohne dass es Hinweise auf nicht mit dem Leben zu vereinbarende Verletzungen gibt, sollen alle Maßnahmen der Wiederbelebung durchgeführt werden, einschließlich einer Wiedererwärmung mittels ECLS [6, 83, 198]. Eine Wiederbelebung wird als aussichtslos angesehen, wenn die Verschüttungsdauer länger als 60 min beträgt und es Hinweise auf einen verlegten Atemweg gibt [83, 198].

Die Prognose, ob eine Wiedererwärmung im Krankenhaus erfolgreich sein kann, soll auf dem HOPE-Score basieren [162, 163]. Die traditionelle Triage von Lawinopfern, die auf dem Serumkalium und der Körperkerntemperatur (Grenzwert 7 mmol/l bzw. 30 °C) basiert, ist möglicherweise weniger zuverlässig [178]. Es ist empfehlenswert, für die Behandlung nach erfolgreicher Wiederbelebung ein Maßnahmenbündel zu haben.

Hyperthermie und maligne Hyperthermie

Hyperthermie ist ein Zustand, bei dem die Körperkerntemperatur aufgrund einer unzureichenden Thermoregulation über die normale Temperatur (36,5–37,5 °C) steigt. Hitzschlag ist ein neu auftretendes gesundheitliches Problem aufgrund einer steigenden Umwelttemperatur, die durch steigende Treibhausgasemissionen verursacht wird [199]. Durch Hitzewellen kommen mehr Menschen als durch jede andere extreme Wetterlage ums Leben [200]. Im Jahr 2003 starben bei einer extremen Hitzewelle 70.000 Menschen in Europa [201]. Die verminderte Fähigkeit zur Schweißproduktion ist der wesentlichste Risikofaktor für eine Hyperthermie. Extremes Alter und Multimorbidität sind zusätzliche Risiken [200, 202]. Der am einfachsten zu ändernde Risikofaktor ist eine ausreichende Flüssigkeitszufuhr [203]. Hyperthermie ist ein Kontinuum hitzebedingter Zustände, die von der Hitzebelastung über die Hitzeerschöpfung bis hin zu einem Hitzschlag unter Belastung und ohne Belastung (verursacht durch hohe Umgebungstemperatur) reichen und potenziell eine Multiorgandysfunktion und einen Kreislaufstillstand (> 40 °C) verursachen können.

Bei der malignen Hyperthermie (MH) handelt es sich um eine seltene pharmakogenetische Störung der Kalziumhomöostase der Skelettmuskulatur, die durch Kontraktionen der Skelettmuskulatur und eine lebensbedrohliche hypermetabolische Krise gekennzeichnet ist, nachdem genetisch prädisponierte Personen halogenierte Anästhetika und Succinylcholin erhalten haben. 3,4-Methylendioxyamphetamin (MDMA, „Ecstasy“) und Amphetamine können

ebenfalls einen MH-ähnlichen Zustand verursachen. Nach einer Verabreichung oder Einnahme setzt ein schneller und unkontrollierter Einstrom von Kalzium in das Zytoplasma der Skelettmuskelzelle eine hypermetabolische Kaskade in Gang mit anhaltenden Kontraktionen der Skelettmuskulatur, einer Verarmung an Adenosintriphosphat (ATP) und dem Untergang von Muskelzellen. Die daraus resultierenden klinischen Symptome sind Hyperkapnie, Masseterspasmus, generalisierte Muskelstarre, Azidose, Hyperkaliämie, spitze T-Wellen im EKG und eine Hyperthermie.

Dieser Abschnitt basiert auf einer systematischen Übersichtsarbeit der ILCOR, zwei aktuellen Übersichtsarbeiten und einer weiteren Übersichtsarbeit zu diesem Thema [52, 200, 203, 204].

Hyperthermie. Es kommt zur Hyperthermie, wenn die Thermoregulation des Körpers zur Thermoregulierung und die Körperkerntemperatur Werte überschreiten, die normalerweise durch homöostatische Mechanismen aufrechterhalten werden [200, 203]. Eine Hyperthermie wird in erster Linie durch Umgebungsbedingungen oder seltener durch endogene Wärmeproduktion hervorgerufen [200]. Es kommt zur umgebungsbedingten Hyperthermie, wenn Wärme, normalerweise in Form von Strahlungsenergie, schneller vom Körper absorbiert wird, als sie durch thermoregulatorische Mechanismen wieder abgegeben werden kann. Hyperthermie ist ein Kontinuum hitzebedingter Zustände, das mit einem Hitzekollaps beginnt, sich über die Hitzeerschöpfung zu einem Hitzschlag, mit einer kompensierbaren und einer nicht-kompensierbaren Phase, entwickelt und schließlich zur Multiorgandysfunktion und einem Kreislaufstillstand führt. Von Bedeutung ist, dass die Entzündungsreaktion, die durch einen Hitzschlag ausgelöst wird, dem systemischen inflammatorischen Response-Syndrom (SIRS) ähnelt und als solche falsch diagnostiziert werden kann, was den Beginn einer adäquaten Behandlung wesentlich verzögern kann [200]. Eine rektale oder ösophageale Temperatursonde soll zur Verfügung stehen, um die Körperkern-

temperatur messen und die Behandlung steuern zu können ([168]; **Abb. 8**).

Der Hitzekollaps ist eine milde Form der Hyperthermie [203]. Zur Behandlung gehört, dass Patienten in eine kühle Umgebung verbracht werden, eine passive Kühlung und die orale Zufuhr von isotonen oder hypertonen Flüssigkeiten erhalten.

Zu einer Hitzeerschöpfung aufgrund einer leichten bis mittelschweren Hyperthermie kommt es bei hohen Umgebungstemperaturen oder übermäßiger Bewegung [203]. Zu den Symptomen gehören starker Durst, Schwäche, Unbehagen, Angstzustände, Schwindel, Synkope. Die Körperkerntemperatur kann normal sein oder $>37^{\circ}\text{C}$ liegen. Zur Behandlung gehört das Verbringen des Patienten in eine kühle Umgebung, Flachlagerung und die Infusion isotoner oder hypertoner Lösungen. Zusätzlich soll ein Ausgleich von Elektrolytverlusten mit isotonen Flüssigkeiten erwogen werden. Mit einer oralen Zufuhr von Flüssigkeiten gelingt der Ausgleich von Elektrolyten möglicherweise nicht, jedoch kann dies eine praktischere Form der Behandlung sein. Die Gabe von 1–2 L Kristalloiden mit 500 mL/h ist häufig angemessen. Normalerweise ist es nicht erforderlich, einfache Maßnahmen der externen Kühlung anzuwenden, zu denen konduktive Verfahren (kalter Boden, Kühldecken; handelsübliche Kühlelemente an Händen, Füßen und Wangen), konvektive Maßnahmen (Eintauchen in kaltes Wasser, kaltes Duschen) und der Einsatz von Verdunstungskälte (mit kaltem Wasser besprühen, Unbekleideten Luft zuweideln) gehören.

Die Diagnose Hitzschlag erfolgt in erster Linie klinisch, anhand der Trias schwere Hyperthermie (Körperkerntemperatur $>40^{\circ}\text{C}$), neurologische Symptome und jüngst erfolgte passive Umgebungsexposition (klassischer oder passiver Hitzschlag) oder übermäßige körperliche Belastung (Belastungshitzschlag oder Belastungshyperthermie; [205]). Zu den Symptomen gehören Dysregulation des Zentralnervensystems (z. B. veränderte Bewusstseinslage, Krampfanfall, Koma), Tachykardie, Tachypnoe und Blutdruckabfall [200]. Die Mortalität liegt bei etwa 10%, wenn es zu einem

Blutdruckabfall kommt, kann sie bis zu 33% betragen [203]. Liegt die Körperkerntemperatur anhaltend $>40,5^{\circ}\text{C}$ verschlechtert sich das Gesamtergebnis.

Wesentlich ist, den Patienten so schnell wie möglich auf $<39^{\circ}\text{C}$, möglichst $<38,5\text{--}38,0^{\circ}\text{C}$, abzukühlen. Zur Behandlung gehört, dass Patienten in eine kühle Umgebung verbracht und flach hingelegt werden. Durch Eintauchen in kaltes Wasser (vom Hals abwärts) oder mittels konduktiver Kühlung des gesamten Körpers können Abkühlraten von 0,2 bis 0,35 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ erreicht werden [206]. Das Eintauchen in kaltes Wasser soll fortgesetzt werden bis die Symptome abgeklungen sind oder für eine angemessene Dauer, z. B. 15 min, weil der Nutzen das Risiko überwiegt (schwache Empfehlung, sehr geringe Evidenzsicherheit; [204]). Alternativ könnte eine Kombination einfacher Kühltechniken eingesetzt werden, zu denen konduktive, konvektive und evaporative Maßnahmen gehören, obwohl keine Vergleichsstudien existieren, die einen Leitfaden für die beste Lösung geben [204]. Einer systematische Übersichtsarbeit kam zu dem Schluss, dass sich durch Eintauchen in Wasser ($1\text{--}17^{\circ}\text{C}$ Wassertemperatur) die Körperkerntemperatur effektiver senken lässt als durch passive Kühlung [204]. Sprühnebel- und Gebläsekühlungstechniken sind geringfügig schneller als passives Kühlen und kaltes Duschen ($20,8^{\circ}\text{C}$) ist schneller als passives Kühlen [204]. Es sollen isotone oder hypertone Flüssigkeiten verabreicht werden (bei Serumnatrium $>130\text{ mmol/L}$ bis zu $3 \times 100\text{ ml } 3\% \text{ NaCl}$ in Abständen von 10 min; [207]). Wenn das Bewusstsein beeinträchtigt ist, soll 3%ige Kochsalzlösung i.v. verabreicht werden; ist die Bewusstseinslage unauffällig, kann es oral verabreicht werden [207]. Darüber hinaus soll die Substitution von Elektrolyten mittels isotoner Flüssigkeiten erwogen werden, wobei erhebliche Flüssigkeitsmengen erforderlich sein können. Für einen Hitzschlag durch körperliche Belastung ist eine Abkühlungsgeschwindigkeit von mehr als 0,10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ sicher und erwünscht. Gehen Sie bei jedem Patienten, bei dem sich die Vitalfunktionen verschlechtern, nach dem ABCDE-Schema vor. Kritisch kranke Patienten werden eine aggressive

und umfassend intensivmedizinische Behandlung benötigen [200, 208]. Um die Temperatur gezielt beeinflussen zu können („targeted temperature management“) kann der Einsatz moderner externer oder interner Kühltechniken erforderlich sein. Es gibt keine spezifischen Medikamente, mit denen die Körperkerntemperatur gesenkt werden kann.

Maligne Hyperthermie. Die meisten MH-assoziierten Varianten werden durch Mutation des RYR1-Gens verursacht. Das RYR1-Gen codiert das Ryanodinrezeptorprotein der Skelettmuskulatur, welches den Kalziumeinstrom vom sarkoplasmatischen Retikulum in das Zytoplasma der Muskelzelle steuert [209, 210]. Medikamente wie 3,4-Methylendioxyamphetamin (MDMA, „Ecstasy“) und Amphetamine können einen Zustand auslösen, der dem der MH ähnlich ist und bei dem der Einsatz von Dantrolen hilfreich sein kann [211]. Kommt es zu einem Kreislaufstillstand, gehen sie nach dem universellen ALS-Algorithmus vor und setzen Sie das Abkühlen des Patienten fort. Die Defibrillation soll mit der üblichen Energie versucht werden. Setzen Sie die gleichen Techniken zur Kühlung ein, die in der Postreanimationsphase beim gezielten Temperaturmanagement („targeted temperature management“) zur Anwendung kommen.

Verabreichen Sie Dantrolen (initial 2,5 mg/kg, 10 mg/kg bei Bedarf). Ryanodex® ist eine lyophilisierte Nanosuspension von Dantrolen-Natrium mit wesentlich verbesserten pharmakologischen Eigenschaften (weniger Ampullen 1:12,5, Verabreichungszeit 1 statt 20 min). Die Zulassung in europäischen Ländern steht noch aus.

Es ist unbedingt erforderlich, einen Experten in einem MH-Zentrum zu kontaktieren, nachdem der Patient stabilisiert wurde, um sich kontinuierlich beraten zu lassen. Da der Metabolismus gesteigert ist, ist das Überleben im Vergleich zu einem Kreislaufstillstand bei Normothermie schlechter [212]. Die Wahrscheinlichkeit für ein ungünstiges neurologische Ergebnis steigt um

den Faktor 2,26 für jedes Grad Celsius Körperkerntemperatur $> 37^{\circ}\text{C}$ [213].

Thrombose

Dieser Abschnitt bezieht sich auf Lungenembolien und Koronararterienthrombosen als potenziell reversible Ursachen für einen Kreislaufstillstand.

Lungenembolie. Ein Kreislaufstillstand aufgrund einer akuten Lungenembolie ist das ernsteste klinische Bild einer venösen Thromboembolie, deren Ursprung in den meisten Fällen eine tiefe Venenthrombose (TVT) ist [214]. Die berichtete Inzidenz eines Kreislaufstillstands aufgrund einer Lungenembolie liegt bei 2–7% aller Kreislaufstillstände außerhalb eines Krankenhauses (OHCA; [215, 216]), und 5–6% aller Kreislaufstillstände im Krankenhaus (IHCA; [120, 217]), wahrscheinlich sind diese Werte aber eine Unterschätzung. Das Gesamtüberleben ist gering [216, 218]. Zu den spezifischen Maßnahmen bei einem Kreislaufstillstand aufgrund einer Lungenembolie gehören die Gabe von Fibrinolytika, eine chirurgische Embolektomie und die perkutane mechanische Thrombektomie.

In ihrer aktualisierten systematischen Übersicht von 2020 hat die ILCOR den Einfluss spezifischer Maßnahmen (z. B. Fibrinolytika oder jede andere) untersucht, die zu positiven Ergebnissen geführt haben [2]. Im Konsensus Statement der ILCOR von 2019 wurde der Einsatz der extrakorporalen Wiederbelebung (ECPR) beim Kreislaufstillstand von Erwachsenen untersucht [102]. Weitere Nachweise wurden in der aktualisierten ESC-Leitlinie zur Lungenembolie gefunden [214]; die betreffenden Beiträge wurden eingeschlossen und Literaturhinweise wurden bezüglich weiterer Publikationen überprüft.

Diagnose

Es ist schwierig, die Diagnose einer akuten Lungenembolie während eines Kreislaufstillstands zu stellen. In einer Studie wurde berichtet, dass die zugrundeliegenden Ursachen in bis zu 85% aller Wiederbelebungsversuche im Krankenhaus korrekt erkannt wurden [217], aber es ist besonders schwierig, eine akute Lungenembolie in der

Prälinik korrekt zu diagnostizieren [219–221]. Die Leitlinien 2019 der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie zur Diagnose und Behandlung der akuten Lungenembolie definieren eine bestätigte Lungenembolie als eine ausreichend hohe Wahrscheinlichkeit einer Lungenembolie, die eine spezifische Behandlung notwendig macht [214]. Die Anamnese und der klinische Befund, Kapnographie und Echokardiographie (falls verfügbar), können hilfreich sein, um während einer Wiederbelebung die Diagnose einer akuten Lungenembolie mit einem unterschiedlichem Maß an Spezifität und Sensitivität zu stellen. Der Kreislaufstillstand tritt üblicherweise in Form einer PEA auf [218]. Sind die gemessenen etCO_2 -Werte trotz qualitativ hochwertiger Thoraxkompressionen niedrig (um $1,7\text{kPa}/13\text{mmHg}$), kann dies die Diagnose einer Lungenembolie stützen, obwohl dies ein unspezifisches Zeichen ist [220, 222].

Symptome, die häufig dem Kreislaufstillstand vorausgehen, sind plötzlich einsetzende Luftnot, atemabhängige oder retrosternale Brustschmerzen, Husten, Hämoptysen, Synkope und insbesondere die Zeichen einer TVT (einseitige Schwellung einer unteren Extremität). Informationen zur Anamnese, zu prädisponierenden Faktoren und zu Medikamenten, die die Diagnose Lungenembolie stützen, sollen gewonnen werden, obwohl keine dieser Angaben spezifisch sind [83, 214]. Bei bis zu 30% der Patienten mit Lungenembolie sind keine Risikofaktoren erkennbar [223]. Wenn vor Eintritt des Kreislaufstillstands ein 12-Kanal-EKG abgeleitet werden kann, können folgende Änderungen, die auf eine rechtsventrikuläre Belastung hinweisen, gesehen werden [214, 224]:

- T-Wellen Inversion in den Ableitungen V1–V4
- QR-Muster in V1
- S1-Q3-T3-Muster (d. h. eine markante S-Welle in Ableitung I, sowie eine Q-Zacke und eine invertierte T-Welle in Ableitung III)
- Inkompletter oder kompletter Rechtsschenkelblock

Eine akute Lungenembolie kann zu einer Drucküberlastung und Funktionsstörung des rechten Ventrikels (RV) führen, was in der Echokardiographie erkennbar ist. Leider gibt es keinen einzelnen echokardiographischen Parameter, der schnelle und zuverlässige Informationen über die Größe oder Funktion des rechten Ventrikels liefert. Die echokardiographischen Kriterien, um die Diagnose einer Lungenembolie stellen zu können, unterscheiden sich in den Studien, der negative Vorhersagewert liegt nur bei 40–50% [214]. Zeichen einer rechtsventrikulären Überlastung oder Funktionsstörung können auch durch andere Herz- oder Lungenerkrankungen verursacht sein [225].

Prävention eines Kreislaufstillstands

Atemweg

Ein niedriges Herzzeitvolumen führt zu einer Entsättigung des gemischten venösen Bluts. Obwohl keine Studien gefunden wurden, die die Rolle von Sauerstoff im Vergleich zu anderen Gasen untersucht haben, haben die Autoren eine Hypoxämie als Stör- und Risikofaktor für einen Kreislaufstillstand angesehen und empfehlen die Verabreichung von Sauerstoff mit hohem Fluss, bis eine zielorientierte Therapie festgelegt werden kann.

Atmung

Hypoxämie und Hypokapnie treten häufig bei Patienten mit Lungenembolie auf, sind jedoch in den meisten Fällen moderat in der Ausprägung. An eine Lungenembolie soll bei allen Patienten mit plötzlich einsetzender und fortschreitender Dyspnoe gedacht werden, vor allem bei Patienten ohne vorbestehende Lungenerkrankung. Andere reversible Ursachen einer kardiovaskulären Verschlechterung und Dyspnoe müssen ausgeschlossen werden, z. B. (Spannungs-)Pneumothorax und Anaphylaxie (anaphylaktischer Schock). Eine Hypoxämie ist normalerweise durch die Gabe von Sauerstoff rückgängig reversibel.

Ist eine maschinelle Beatmung erforderlich ist, soll darauf geachtet werden, die nachteiligen hämodynamischen Effekte zu begrenzen. Insbesondere der positive intrathorakale Druck, der durch eine maschinelle Beatmung induziert wird, kann den venösen Rückfluss verringern

und ein rechtsventrikuläres Versagen verschlimmern [214].

Kreislauf

Die klinische Einteilung für den Schweregrad einer akuten Lungenembolie basiert auf der geschätzten Krankenhausmortalität oder der 30-Tage-Mortalität. Es besteht der Verdacht auf eine Lungenembolie mit hohem Risiko oder sie wurde bestätigt, wenn ein Schock oder eine anhaltende arterielle Hypotension vorliegt. Bei Verdacht auf eine Lungenembolie mit hohem Risiko besteht unmittelbare Lebensgefahr.

Ein akutes Rechtsherzversagen ist die häufigste Todesursache bei Patienten mit einer Lungenembolie mit hohem Risiko. Eine aggressive Volumenexpansion hat keinen Nutzen und kann die rechtsventrikuläre Funktion durch eine mechanische Überdehnung sogar verschlechtern. Andererseits kann eine moderate Flüssigkeitsgabe (≤ 500 ml) dazu beitragen, bei Patienten mit einer Lungenembolie, die einen niedrigen Herzindex und normalen Blutdruck haben, den Herzindex zu steigern. Der Einsatz von Vasopressoren und/oder Inotropika ist häufig erforderlich [214].

Reperfusion

Eine parenterale Antikoagulation soll begonnen werden, während auf die Ergebnisse der diagnostischen Untersuchungen gewartet wird. Unfraktioniertes Heparin (UFH) intravenös ist für Patienten mit Schock und Hypotension empfohlen, bei denen eine primäre Reperfusion erwogen wird. Bei einer akuten Lungenembolie wird die Lungenperfusion durch eine Thrombolyse schneller wiederhergestellt als durch eine Antikoagulation nur mit UFH. Eine Durchsicht der randomisierten klinischen Studien (RCT) ergab, dass eine Thrombolyse bei Hochrisikopatienten, die hämodynamisch instabil sind, die Mortalität und das Auftreten einer erneuten Lungenembolie reduzieren kann [226]. Eine chirurgische Embolektomie oder eine perkutane katetertgesteuerte Intervention ist eine empfohlene Alternative zu einer Rescue-Lyse bei sich schnell verschlechternden Patienten, wenn vor Ort entsprechende Expertise und Ressourcen vorhanden sind. Behandlungsentscheidungen sollen von einem interdisziplinären Team getroffen

werden, zu dem ein Thoraxchirurg oder ein interventioneller Kardiologe gehören [214, 227].

Anpassung des ALS-Algorithmus bei Lungenembolie

Thrombolyse

Ist eine Lungenembolie die vermutliche Ursache für einen Kreislaufstillstand, sollen thrombolytische Medikamente verabreicht werden (schwache Empfehlung, sehr geringe Evidenzsicherheit; [2]). Hinsichtlich des Wiedereinsetzens des Spontankreislaufs (ROSC) haben zwei Studien mit einer sehr geringen Evidenzsicherheit keinen Unterschied für ein Vorgehen mit oder ohne Thrombolyse erbracht [228, 229]. Eine Studie konnte durch den Einsatz einer Thrombolyse einen Nutzen im Vergleich zu keiner Thrombolyse zeigen [218]. Eine Studie konnte einen Nutzen für die Thrombolyse für das Überleben nach 24 h zeigen, während eine andere Studie keinen Unterschied mit oder ohne Thrombolyse gesehen hat [215, 228]. Drei Beobachtungsstudien zeigten keinen Vorteil bezüglich des Überlebens bis zur Krankenhausentlassung [218, 228, 229]. Für das Überleben hinsichtlich eines günstigen neurologischen Ergebnisses nach 30 Tagen, wurden Thrombolytika und Placebo in einer randomisierten klinischen Studie mit 37 Patienten mit bestätigter Lungenembolie miteinander verglichen und kein Unterschied zwischen den Gruppen gefunden [216]. Eine weitere Beobachtungsstudie mit/ohne Thrombolyse konnte keinen Unterschied finden [215]. Es gibt keine ausreichenden Nachweise, um eine Empfehlung bezüglich eines optimalen Medikaments oder einer Dosierungsstrategie zur Thrombolyse während der Wiederbelebung geben zu können [2]. Wenn Thrombolytika verabreicht wurden, sollen Sie erwägen, die Wiederbelebungsversuche für mindestens 60–90 min fortzusetzen, bevor Sie die Wiederbelebungsversuche einstellen [230–232].

Chirurgische Embolektomie

Ist eine Lungenembolie die gesicherte Ursache eines Kreislaufstillstands, wird der Einsatz von Fibrinolytika oder eine chirurgische Embolektomie oder eine perkutane mechanische Thrombektomie empfohlen (schwache Empfehlung, sehr geringer Evidenzsicherheit; [2]). In zwei

Fallserien ohne Kontrollgruppe wird über diese Methode bei Patienten mit Kreislaufstillstand berichtet [233, 234].

Perkutane mechanische Thrombektomie

Über diese Methode wird in einer Fallserie bei Patienten mit Kreislaufstillstand berichtet [235].

Extrakorporale CPR

Eine extrakorporale Wiederbelebung (ECPR) soll als Rescue-Therapie für ausgewählte Patienten mit Kreislaufstillstand in Erwägung gezogen werden, wenn eine konventionelle Wiederbelebung in einem Umfeld erfolglos bleibt, in dem eine ECPR durchgeführt werden kann (schwache Empfehlung, sehr geringe Evidenzsicherheit; [102]). Die ECPR wird zunehmend zur Kreislaufunterstützung bei Patienten mit einem Kreislaufstillstand eingesetzt, der refraktär in Bezug auf herkömmliche Wiederbelebungsmaßnahmen ist [236]. Einige Beobachtungsstudien empfehlen den Einsatz eines extrakorporalen Lebenserhaltungssystems („extracorporeal life support system“, ECLS), wenn ein Kreislaufstillstand im Zusammenhang mit einer Lungenembolie steht [237, 238]. Mittels ECPR wird die Perfusion lebenswichtiger Organe aufrechterhalten, während potenziell reversible Ursachen des Kreislaufstillstands identifiziert und behandelt werden können. Eine ECPR kann bei ausgewählten Patienten erwogen werden, wenn Experten schnell bereitstehen können; gleichwohl gibt es keine guten Definitionen für eine optimale Selektion der Patienten und dem Zeitpunkt des Therapiebeginns. Die Empfehlungen zu ECPR wurden aus heterogenen Einzelstudien abgeleitet, die hauptsächlich wegen Confounder schwer zu interpretieren sind. Randomisierte kontrollierte Studien (RCT) liegen nicht vor. Diese jüngste schwache Empfehlung berücksichtigt die extrem hohe Sterblichkeit von Patienten mit einem Kreislaufstillstand, der refraktär bezüglich herkömmlichen erweiterten Wiederbelebungsmaßnahmen ist (d.h. Kreislaufstillstand, wenn die konventionelle Wiederbelebung versagt). Daher bleibt der potenzielle Nutzen und der Wert dieser Intervention bestehen, ungeachtet der insgesamt geringen befür-

Tab. 5 Prävalenz signifikanter koronarer Herzkrankheit unter Patienten bei präklinischem Kreislaufstillstand mit Kammerflimmern/pulsloser ventrikulärer Tachykardie

	ROSC		Refraktäres VF/VT
	ST Hebung	Keine ST Hebung	
Prävalenz einer signifikanten Koronaren Herzkrankheit	70–95 %	25–50 %	75–85 %
Prävalenz akuter Läsionen	70–80 %	25–35 %	60–65 %

wortenden Evidenzsicherheit und des Fehlens randomisierter Studien [239].

Koronarthrombose. Eine obstruktive koronare Herzerkrankung (obstruktive KHK) ist die häufigste Ursache, die einem Kreislaufstillstand von Erwachsenen außerhalb eines Krankenhauses (OHCA) zugrunde liegt [240, 241]. Zum klinischen Spektrum der KHK gehören ventrikuläre Herzrhythmusstörungen aufgrund einer akuten Ischämie, solche, die in der Akutphase und im Rekonvaleszenzstadium eines Myokardinfarkts auftreten, sowie Herzrhythmusstörungen, die mit einer Narbe nach einem Myokardinfarkt oder einem ischämischen Remodelling in Zusammenhang stehen [242]. Signifikante oder akute Koronarstenosen sind besonders häufig bei defibrillierbaren Rhythmen (VF/pVT) und wenn nach einem Kreislaufstillstand ST-Hebungen im EKG auftreten; allerdings wurde auch bei einem signifikanten Prozentsatz der Patienten mit ROSC und fehlenden ST-Hebungen im EKG von akuten Koronarläsionen berichtet (Tab. 5). Im Gegensatz dazu ist das Vorliegen und die Bedeutung einer KHK bei nicht defibrillierbaren Rhythmen (PEA oder Asystolie) unklar, da in solchen Fällen eine Koronarangiographie seltener durchgeführt wird [243].

Die evidenzbasierten Empfehlungen bei Verdacht auf bzw. die Behandlung von Koronarthrombosen als Ursache eines Kreislaufstillstands außerhalb des Krankenhauses stützen sich auf die Zusammenfassung der ILCOR-CoSTR-Leitlinien von 2019 [239], den ILCOR-CoSTR-Leitlinien von 2015 zum akuten Koronarsyndrom (ACS; [244]), den Leitlinien der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie (ESC; [245–247]), dem Konsensuspapier der Europäischen Vereinigung für perkutane kardiovaskuläre

Interventionen (EAPCI; [248]) und der wissenschaftliche Stellungnahme der American Heart Association (AHA; [243]). Die Leitlinien wurden gemäß dem AGREE-II-Instrument bewertet. Zusätzlich wurde eine gezielte Literatursuche als Evidenz-Update durchgeführt und einige Empfehlungen wurden im Konsens innerhalb der Schreibgruppe festgelegt.

Prävention und Vorbereitung

Förderung der Herz-Kreislauf-Prävention. Primäre und sekundäre kardiovaskuläre Prävention zur Bekämpfung der KHK, einschließlich eines gesunden Lebensstils und der regelmäßigen Einnahme evidenzbasierter Medikation, kann der erste Schritt sein, um das Risiko akuter kardiovaskulärer Ereignisse, einschließlich eines prähospitalen Kreislaufstillstands, zu verringern [247, 249]. Durch die kardiale Rehabilitation von Patienten nach akutem Koronarsyndrom (ACS) kann das Risiko nachfolgender Ereignisse verringert werden [250], allerdings bleiben häufig Chancen ungenutzt; daher soll die Rehabilitation weiter gefördert werden [251, 252].

Gesundheitserziehung verbessern. Die Verkürzung der Zeit vom Auftreten der Symptome bis zum ersten medizinischen Kontakt ist ein Bereich, in dem bekanntermaßen Raum für Verbesserungen verbleibt. Dies könnte durch Aufklärungskampagnen geschehen, die die Öffentlichkeit für die Bedeutung der Erkennung von Symptomen eines Myokardinfarkts (Brustschmerzen) und der frühzeitigen Alarmierung des Rettungsdiensts sensibilisieren [246].

Förderung der Laienreanimation (BLS). Initiativen zur Förderung der BLS-Ausbildung für Laien könnten das Bewusstsein für OHCA und die Wahrscheinlichkeit des Eingreifens von Notfallzeugen bei OHCA verbessern und die Chancen auf gute Reanimationsergeb-

nisse erhöhen. Weitere Informationen finden Sie in Kapitel 12 (Ausbildung). BLS-Trainings sollen insbesondere Risikogruppen wie Angehörige von Patienten mit früherem ACS einbeziehen [253, 254]. Eine systematische Überprüfung von Studien zum BLS-Training für Familienmitglieder von Herzpatienten mit hohem Risiko ergab eine angemessene thematische Offenheit und Lernfähigkeit [255]. Dennoch kann das Erreichen dieser Gruppe eine Herausforderung sein. Nachfolgende weitere Studien haben positive Ergebnisse bei der Durchführung von BLS-Schulungen gezeigt, die sich an Patienten und ihre Angehörigen im Rahmen von kardialen Rehabilitationsprogrammen richten [256, 257].

Angemessene Ressourcen sicherstellen. Regionale STEMI-Netzwerke haben dazu beigetragen, die Zeitintervalle bis zur Reperfusion zu verkürzen und die Reanimationserfolge zu verbessern [258–263]. Initiativen zur Bildung solcher Netzwerke sollen gefördert und diesen sollen ausreichende personelle und materielle Ressourcen einschließlich einer angemessenen Schulung des Personals (Kenntnisse der EKG-Interpretation und ALS-Kompetenz) ermöglicht werden [264].

Verbesserung von Qualitätsmanagementsystemen und -indikatoren. Daten zu einem prähospitalen Kreislaufstillstand im Rahmen eines ACS wurden unregelmäßig gemeldet oder von Mortalitätsanalysen ausgeschlossen. Das Erreichen von Qualitätsstandards, die denen für Nichtkreislaufstillstand-ACS ähneln, kann die Qualitätsüberwachung verbessern und zu besseren Ergebnissen führen [246]. Aufgrund der besonderen Merkmale von ACS-Patienten mit prähospitalen Kreislaufstillstand müssen diese Ereignisse möglicherweise separat kategorisiert und geeignete und zuverlässige Qualitätsindikatoren erarbeitet werden [265].

Erfassen Sie Parameter, die auf eine Koronarthrombose hinweisen, und aktivieren Sie das STEMI-Netzwerk zur Versorgung

Ein 12-Kanal-EKG nach OHCA kann unspezifische Veränderungen aufweisen, die die Interpretation erschweren. EKG-Kriterien, die auf einen Koronarverschluss hindeuten (z. B. Blockbilder, überhöhte T-Wellen, diffuse ST-Senkungen mit V1/aVR-ST-Erhöhung), wenn Symptome einer Ischämie vorliegen [246], können nicht unbedingt auf Patienten nach OHCA angewendet werden. Angesichts der Einschränkungen eines Postarrest-EKG zur Erkennung eines Koronarverschlusses sollen [266, 267] alle verfügbaren Informationen gesammelt werden, um eine Entscheidung zu treffen. Dies schließt spezifische klinische Merkmale wie Brustschmerzen vor dem Kreislaufstillstand oder eine KHK-Anamnese ein. Sobald ein klinischer Verdacht auf einen Koronarverschluss besteht, soll das STEMI-Netzwerk aktiviert werden, um eine frühzeitige Reperfusion zu ermöglichen.

Wiederbelebung und Behandlung möglicher Ursachen (Reperfusionstrategie)

Patienten mit anhaltendem ROSC

Trotz fehlender prospektiv randomisierter Studien besteht allgemeiner Konsens darüber, dass erfolgreich wiederbelebte STEMI-Patienten sofort einer Reperfusionstherapie unterzogen werden sollen. Dies wird aus Empfehlungen für STEMI-Patienten ohne OHCA extrapoliert [243, 244, 246, 248]. Die primäre perkutane Koronarintervention (PCI) ist die Strategie der Wahl und soll in ≤ 120 min nach der Diagnose durchgeführt werden [243, 244, 246, 248]. Eine außerklinische Fibrinolyse kann dann verabreicht werden, wenn eine größere Verzögerung der PCI erwartet wird, es sei denn, die Reanimationsmaßnahmen erfolgten prolongiert oder es liegen ein Trauma oder andere Kontraindikationen vor [243, 244, 246, 248]. Erfolgreich reanimierte STEMI-Patienten, die nach ROSC komatös bleiben, bilden eine sehr heterogene Untergruppe mit einer schlechten Prognose. Es gibt aber derzeit keine Evidenz, eine dringliche Koronarangiographie bei diesen Patienten zu unterlassen [244].

Bei Patienten mit ROSC- und fehlenden STEMI-Kriterien berichteten zwei systematische Übersichten über Vorteile der Durchführung einer PCI [268, 269], allerdings bleibt der Zeitpunkt der Koronarangiographie weiterhin umstritten. Die COACT-Studie zeigte keinen Nutzen der direkten im Vergleich zur verzögerten Koronarangiographie im 90-Tage-Überleben bei solchen Patienten mit anfänglich schockbarem Rhythmus und ohne STEMI oder einer anderen nichtkardialen Ursache für OHCA, die nach ROSC bewusstlos blieben [270]. Ein höheres Überleben als erwartet in beiden Gruppen hat jedoch möglicherweise die Aussagekraft der Studie verringert. Bis neue Erkenntnisse aus laufenden, randomisierten Studien vorliegen, wird ein individuelles Vorgehen unter Berücksichtigung des individuellen Patienten, seiner EKG-Befunde und seines hämodynamischen Zustands empfohlen [245]. Eine kurze Beurteilung in der Notaufnahme oder auf der Intensivstation kann in Betracht gezogen werden, um offensichtliche nichtkoronare Ursachen des prähospitalen Kreislaufstillstands auszuschließen und den Status des Patienten zu überprüfen. Wird eine anhaltende Myokardischämie vermutet oder ist der Patient hämodynamisch oder rhythmisch instabil, soll eine frühe Koronarangiographie (≤ 120 min) durchgeführt werden. Bei wiederbelebten stabilen Patienten ohne STEMI würde eine verzögerte Angiographiestrategie in Betracht gezogen [243–246, 248, 271].

Patienten ohne anhaltenden ROSC

Entscheidungen in Bezug auf Patienten, die trotz Wiederbelebung keinen anhaltenden ROSC erreichen, sind schwierig und sollen unter Berücksichtigung des individuellen Patienten, der Rahmenbedingungen sowie der verfügbaren Ressourcen individualisiert werden. Weitere Informationen zur Beendigung von Reanimationsmaßnahmen finden Sie in Abschn. 11 (Ethik). In Übereinstimmung mit den in diesem Abschnitt beschriebenen Prinzipien kann eine routinemäßige Koronarangiographie bei Patienten mit refraktärem prähospitalen Kreislaufstillstand nicht empfohlen werden. Diese soll nach sorgfältiger Abwägung des Nutzen-Schaden-Verhältnisses, der ver-

fügbaren Ressourcen und des Fachwissens des Teams individualisiert werden [248].

Obwohl sich die mechanische Reanimation gegenüber der herkömmlichen Reanimation nicht als überlegen erwiesen hat, kann sie die Bereitstellung qualitativ hochwertiger Thoraxkompressionen während des Transports von Patienten oder während der Koronarangiographie erleichtern. Besondere Aufmerksamkeit muss der Minimierung von Kompressionsunterbrechungen und Verzögerungen bei der Defibrillation gewidmet werden [272]. Anhand der Ergebnisse einer kürzlich durchgeführten systematischen Übersichtsarbeit zu extrakorporaler Reanimation kann deren Anwendung weder bei IHCA noch bei OHCA bei Erwachsenen oder Kindern empfohlen oder davon abgeraten werden [273]. Dementsprechend empfiehlt ILCOR die extrakorporale Reanimation für ausgewählte Patienten dann, wenn die konventionelle Reanimation erfolglos ist (schwache Empfehlung, sehr geringe Evidenzsicherheit; [102, 239]). Eine nachfolgende Registerstudie mit 13.191 OHCA-Patienten ergab keinen Zusammenhang zwischen extrakorporaler Reanimation und verbessertem Ergebnis im Vergleich zur konventionellen Reanimation. Allerdings führten bestimmte Merkmale (anfänglicher schockbarer Rhythmus, vorübergehender ROSC) zu besseren Ergebnissen in der extrakorporalen Reanimationsgruppe [274]. Randomisierte Studien mit extrakorporaler Reanimation, die prähospital (clinicaltrials.gov NCT02527031) und im Krankenhaus (clinicaltrials.gov NCT03101787 und NCT01511666) durchgeführt werden, können dazu beitragen, zukünftig die Evidenz zur Patientenauswahl und die Einschätzung des Risiko-Nutzen-Verhältnisses sowie der Wirtschaftlichkeit zu verbessern.

Herzbeutelamponade

Eine Herzbeutelamponade tritt auf, wenn der Perikardsack mit unter Druck stehender Flüssigkeit gefüllt ist. Dies führt zu einer Beeinträchtigung der Herzfunktion und letztendlich zu einem Kreislaufstillstand. Die Erkrankung tritt am häufigsten nach perforieren-

dem Trauma oder kardiochirurgischer Operation auf. Die Mortalität ist hoch und eine sofortige Dekompression des Perikards ist erforderlich, um eine Überlebenschance zu wahren. Die Evidenzbasis für die Diagnose (Ultraschall) und die Behandlung (besondere Umstände: Trauma; Herzchirurgie) wird in den jeweiligen Abschnitten der Leitlinien 2020 ausführlicher benannt.

Die Literaturrecherche für eine Aktualisierung der Evidenz ergab im Vergleich zu den ERC-Leitlinien 2015 keine neuen Ergebnisse.

Diagnose. Die echokardiographische Beurteilung der Herzbeutelamponade ist wichtig für eine zeitnahe und angemessene Diagnose und Behandlung. Die Verwendung der Point-of-care-Echokardiographie wird im Kapitel ALS ausführlich beschrieben.

Behandlung.

Thorakotomie

Die Kriterien und Voraussetzungen für eine Notfallthorakotomie bei Patienten mit einem penetrierenden Trauma der Brust oder des Epigastriums sind im Abschnitt über traumatischen Kreislaufstillstand beschrieben. Die Behandlung der Herzbeutelamponade nach kardiochirurgischen Eingriffen wird im Abschnitt über einen Kreislaufstillstand nach kardiochirurgischer Operation behandelt.

Perikardiozentese

Wenn eine Thorakotomie nicht möglich ist, soll eine ultraschallgeführte Perikardiozentese in Betracht gezogen werden, um einen Kreislaufstillstand zu behandeln, der im Verdacht steht, eine traumatische oder nichttraumatische Herzbeutelamponade als Ursache zu haben. Eine nicht ultraschallgeführte Perikardiozentese ist nur dann eine Alternative, wenn kein Ultraschall verfügbar ist [83].

Spannungspneumothorax

Der Spannungspneumothorax stellt eine reversible Ursache des Kreislaufstillstands dar und muss während der Reanimation ausgeschlossen werden. Ein Spannungspneumothorax kann zu einem Kreislaufstillstand führen, indem er den venösen Rückfluss durch mediastinale Verschiebung behindert. Ein

Spannungspneumothorax kann durch Trauma, schweres Asthma und andere Pulmonalerkrankungen verursacht werden, aber auch iatrogen durch invasive Verfahren wie die Anlage eines Zentralvenenkatheters. Die Durchführung einer Überdruckbeatmung kann einen Pneumothorax in einen Spannungspneumothorax umwandeln [275]. Die Prävalenz des Spannungspneumothorax beträgt ungefähr 0,5 % im Kollektiv der prähospital versorgten Schwerverletzten und 13 % bei Patienten mit traumatischem Kreislaufstillstand [26].

Die Empfehlungen in diesem Abschnitt basieren auf gezielter Literaturrecherche zur Aktualisierung der Evidenz und systematischen Übersichtsarbeiten [275].

Diagnose. Die Diagnose eines Spannungspneumothorax bei Patienten mit Kreislaufstillstand oder hämodynamischer Instabilität kann mittels klinischer Untersuchung oder PoC-Ultraschall gestellt werden. Die Symptome umfassen eine hämodynamische Instabilität (Hypotonie oder Kreislaufstillstand) in Verbindung mit Anzeichen eines Pneumothorax, wie vorbestehende Atemnot, Hypoxie, fehlende einseitige Atemgeräusche bei Auskultation, Krepitationen und subkutanes Emphysem sowie mediastinale Verschiebung (Trachealabweichung und Jugularvenen-Stauung; [275]). Während der Reanimation lassen sich nicht immer die klassischen Symptome eines Spannungspneumothorax erkennen, wenn dieser im Rahmen eines Kreislaufstillstands oder einer schweren Hypotonie vermutet wird, soll eine sofortige Thoraxdekompression durch offene Minithorakotomie erfolgen, sofern die entsprechende Kompetenz vorhanden ist [276].

Behandlungsempfehlungen.

Nadeldekompression

Eine Nadeldekompression kann schnell durchgeführt werden, häufig besitzt das Rettungsdienstfachpersonal die entsprechende Kompetenz. Die Punktion wird häufig mit Standardvenenverweilkanülen durchgeführt. Bei einem signifikanten Anteil der Patienten ist die Brustwand aber so dick, dass

eine Nadeldekompression mit einer 14-Gauge-Kanüle mit Standardlänge unmöglich ist, da der Pleuraspalt nicht erreicht wird [61]. Um bei 90 % aller Punktionsversuche innerhalb einer Durchschnittspopulation den Pleuraspalt in der mittleren Klavicularlinie im 2. Interkostalraum (ICR) zu erreichen, ist eine Nadellänge von mindestens 7 cm erforderlich [62]. Die Dekompression mittels Nadel im 4./5 ICR in der vorderen Axillarlinie hat die niedrigste Ausfallrate im Vergleich zum 4./5 ICR in der Mittellinie und dem 2. ICR in der Medioklavikularlinie [277].

Standardvenenverweilkanülen neigen zudem zum Abknicken und Verstopfen [278]. Auf jeden Versuch einer Nadeldekompression unter Reanimation muss eine Minithorakotomie mit oder ohne Thoraxdrainage folgen, sofern die notwendige Qualifikation hierzu verfügbar ist.

Minithorakotomie

Bei Patienten mit traumatischem Kreislaufstillstand behandelt die Pleuradekompression den Spannungspneumothorax wirksam und hat daher Vorrang vor allen anderen Maßnahmen. Die Minithorakotomie ist einfach durchzuführen und wird in der Notfallmedizin routinemäßig angewendet [279]. Die Minithorakotomie ist der erste Schritt zur Anlage einer Thoraxdrainage – sie beinhaltet einen einfachen Einschnitt und eine schnelle Eröffnung des Pleuraraums (siehe traumatischer Kreislaufstillstand). Das Einsetzen der Thoraxdrainage kann nach erfolgreicher Wiederbelebung erfolgen.

Toxische Substanzen

Allgemein führt eine Vergiftung nur selten zum Kreislaufstillstand oder zum Tod [280]. In der aktuellen Literatur wird jedoch berichtet, dass der Anteil der Menschen, die nach einer Exposition mit toxischen Substanzen schwerwiegendere Verläufe zeigen (mittelschwerer, schwerer oder tödlicher Verlauf) seit dem Jahr 2000 um 4,45 % pro Jahr gestiegen ist [281]. Die fünf wichtigsten Vergiftungssubstanzklassen im Jahr 2018 waren Analgetika, Haushaltsreinigungsmittel, Kosmetika und Körperpflegeprodukte, Beruhigungsmittel, Hypnotika, Anti-

psychotika und Antidepressiva [281]. Vorsätzliche (suizidale) und akzidentelle Vergiftungen durch Pestizide haben einen signifikanten Anteil an den weltweiten Todesursachen [282]. Vergiftungen sind eine wichtige Ursache für prähospitalen Kreislaufstillstand in jüngeren Altersgruppen [283]. Fehlerhafte Medikamentendosierung, Wechselwirkungen mit anderen Medikamenten und andere Medikationsfehler können ebenfalls zu Intoxikationen führen. Eine akzidentelle Vergiftung ist bei Kindern häufiger als bei Erwachsenen [284, 285]. Eine in Tötungsabsicht herbeigeführte Intoxikation stellt eine Seltenheit dar. Arbeitsunfälle, Kriegsführung oder Terrorismus können ebenfalls zur Freisetzung von toxischen Substanzen führen.

Die Empfehlungen in diesem Abschnitt basieren auf systematischen Übersichtsarbeiten unter Verwendung eines dualen Überprüfungsansatzes. Für Opioidintoxikationen hat ILCOR ein Evidenz-Update veröffentlicht [2]. Angesichts der Seltenheit der meisten Vergiftungen basiert die klinische Wirksamkeit vieler Interventionen häufig auf geringgradiger Evidenz, unter Einschluss von Tierversuchen und Fallserien oder Fallberichten am Menschen. Diese beinhalten einen erheblichen Publikationsbias. Die Wahrscheinlichkeit, dass bestätigende RCT die Wirksamkeit solcher Ergebnisse nachweisen, ist gering. Daher sind die meisten der folgenden Aktualisierungen und zugehörigen Empfehlungen schwach und basieren auf einem geringen Evidenzniveau.

Herz-Kreislauf-Notfälle bei akuter Vergiftung. Giftstoffe können über indirekte (durch Stoffwechselstörungen vermittelte) oder direkte Mechanismen kardiovaskuläre Notfälle hervorrufen. Im letzteren Fall können toxische Substanzen den Blutdruck, die Kontraktilität des Myokards und die Leitfähigkeit verändern. Hypertensive Notfälle können bei akuten Vergiftungen mit adrenergen Agonisten wie Kokain oder Amphetaminen auftreten. Das beste Management besteht aus der Sedierung mit Benzodiazepinen, Vasodilatoren und reinen Alpha-Antagonisten.

Hypotonie kann durch viele toxische Substanzen verursacht werden, die aufgrund akuter Volumenverluste (Pestizide, Pilze, Lithium, Diuretika, Cholinomimetika) oder durch Vasodilatation (Alkohol, blutdrucksenkende Medikamente, Anticholinergika, trizyklische Antidepressiva, Kalziumkanalblocker, Opioide) zu Hypovolämie führen. Giftstoffe können auch Tachy- oder Bradyarrhythmien verursachen (Anticholinergika, Sympathomimetika, Antiarrhythmika, halogenierte Kohlenwasserstoffe usw.). Medikamente mit chinidinähnlicher Wirkung (Antiarrhythmika) sollen mit Natriumbikarbonat (1–2 mmol/kg) i.v. behandelt werden. Es ist wichtig, neben den erweiterten lebensrettenden Maßnahmen zur Behandlung von Arrhythmien auch spezifische Therapieoptionen zu berücksichtigen, sofern verfügbar (Kalziumkanalblocker und Betablocker, Digoxinvergiftungen; [100]).

Neurologische Notfälle bei akuter Vergiftung. Giftstoffe können auch für neurologische Notfälle verantwortlich sein, wie z. B. Bewusstseinsstörungen, Anfälle und Bewegungsstörungen. Klinisch bleiben bei einem metabolischen (oder toxischen) Koma die okulozephalen und okulovestibulären Reflexe normalerweise erhalten und die motorische Reaktion ist normalerweise symmetrisch. Die Pupillengröße kann die Diagnose leiten (Miosis ist typisch für eine Überdosierung mit Opioiden und Mydriasis mit einer Überdosierung mit Anticholinergika). Viele Medikamente können durch direkte Wirkung Anfälle verursachen (Antihistaminika, Antidepressiva, Antipsychotika, Antibiotika, Lithium, Koffein, Kokain, Amphetamine, Pestizide, Kohlenmonoxid). Die Behandlung solcher Notfälle muss dem Algorithmus für erweiterte lebensrettende Maßnahmen folgen, einschließlich eines frühzeitigen invasiven Atemwegsmanagements (siehe Kapitel 5 ALS; [100]).

Prävention des Kreislaufstillstands. Beurteilen Sie den Patienten mit dem systematischen ABCDE-Schema. Atemwegsobstruktion und Atemstillstand infolge einer Bewusstseinstrübung sind eine häufige Todesursache nach Selbstvergif-

tung (Benzodiazepine, Alkohol, Opiate, Trizyklika, Barbiturate; [286, 287]). Eine frühe endotracheale Intubation des bewusstlosen Patienten durch geschultes Personal kann das Aspirationsrisiko verringern. Eine arzneimittelinduzierte Hypotonie spricht normalerweise auf Infusion an, gelegentlich ist jedoch eine Vasopressorunterstützung erforderlich. Messen Sie Serumelektrolyte (insbesondere Kalium), Blutzucker und arterielle Blutgase. Bewahren Sie Blut- und Urinproben für die Toxinanalyse auf. Patienten mit schwerer Vergiftung sollen auf einer Intensivstation behandelt werden [287]. Falls verfügbar, überprüfen Sie nach der Stabilisierung des Patienten, ob in der Anamnese Informationen über die betreffende toxische Substanz vorliegen. Ist ein Antidot verfügbar, soll dieses so früh wie möglich appliziert werden, um das Outcome zu verbessern. Es wurde gezeigt, dass das auslösende Toxin stark mit dem Outcome vergiftungsinduzierter prähospitaler Kreislaufstillstände assoziiert ist [288].

Anpassungen der Reanimation. Bei Kreislaufstillstand durch toxische Substanzen sollen spezifische Behandlungsmaßnahmen wie Antidota, Dekontamination und forcierte Elimination in Betracht gezogen werden. Verschiedene spezifische Vorsichtsmaßnahmen sind bezüglich der Versorgung von berauschten Patienten zu beachten. Die persönliche Sicherheit ist am wichtigsten. Bei Intoxikationsverdacht, unerwarteten Kreislaufstillständen oder bei mehr als einem Patienten müssen Selbstschutzmaßnahmen im Umgang mit dem Patienten in Betracht gezogen werden. Mund-zu-Mund-Beatmung in Gegenwart von Chemikalien wie Zyanid, Schwefelwasserstoff, Ätzmitteln und Organophosphaten soll vermieden werden, da dies zu einer Vergiftung des Retters führen kann.

Die toxischen Substanzen müssen so früh wie möglich identifiziert werden. Verwandte, Freunde und Rettungskräfte können nützliche Informationen liefern. Die Untersuchung des Patienten kann diagnostische Hinweise wie Gerüche, Punktionsstellen, Pupillenanomalien

en und Anzeichen von Verätzung an der Mundschleimhaut ergeben.

Alle reversiblen Ursachen für einen Kreislaufstillstand sollen auch bei Patienten mit Kreislaufstillstand aufgrund toxischer Substanzen ausgeschlossen werden. Lebensbedrohliche Tachyarrhythmien können direkt oder indirekt durch Toxine verursacht werden, z. B. aufgrund von Elektrolytstörungen. Hypo- oder Hyperthermien können auch im Rahmen einer Überdosierung auftreten. Insbesondere bei jungen Patienten kann es erforderlich sein, die Reanimation über einen längeren Zeitraum fortzusetzen, da toxische Substanzen bei längeren Wiederbelebungsmaßnahmen metabolisiert oder ausgeschieden werden können.

Es gibt eine Reihe alternativer Ansätze bei schweren Intoxikationen. Diese beinhalten höhere Medikamentendosen als in Standardprotokollen (z. B. hochdosierte Insulin-Euglykämie; [289]), nicht standardmäßige Arzneimitteltherapien (z. B. intravenöse Lipidemulsion; [290–292]), extrakorporale Reanimation [293, 294] und Hämodialyse [294].

Regionale Giftinformationszentralen für Informationen zur Behandlung des vergifteten Patienten und Online-Datenbanken für Informationen zur Toxikologie und zu gefährlichen Chemikalien stehen zur Konsultation zur Verfügung. Das International Program on Chemical Safety (IPCS) der WHO verzeichnet Giftinformationszentralen auf seiner Webseite: https://www.who.int/gho/phe/chemical_safety/poisons_centres/en/.

Weitere hilfreiche Webseiten sind:

- <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>
- <https://chem.nlm.nih.gov/chemidplus/chemidlite.jsp>

Spezifische therapeutische Maßnahmen. Es gibt einige spezifische therapeutische Maßnahmen zur Vergiftung – Dekontamination, Verbesserung der Elimination und Verwendung spezifischer Antidote. Viele dieser Interventionen sollen nur nach Expertenrat angewendet werden. Wenden Sie sich an eine Giftinformationszentrale, um aktuelle Informationen zu schweren oder ungewöhnlichen Vergiftungen zu erhalten.

Dekontamination

Die Dekontamination ist der Prozess zur Entfernung des Giftstoffs aus dem Körper in Abhängigkeit vom Expositionsweg:

Bei dermalen Exposition soll die Kleidung entfernt und der Patient mindestens 15 min lang reichlich mit Wasser gespült werden. Neutralisierende chemische Substanzen sollen nicht verwendet werden, da diese weitere Gewebeschäden verursachen können.

Bei Augenläsionen soll in den schwersten Fällen mit einer sofortigen reichlichen Spülung mit physiologischer Kochsalzlösung für mindestens 30 min begonnen werden. Topische Medikamente sollen nicht angewendet werden, bevor eine Expertenbewertung stattgefunden hat [52].

Eine Magenspülung soll aufgrund ihrer Risiken, wenn überhaupt, dann nicht routinemäßig zur Behandlung von intoxikierten Patienten durchgeführt werden. In den seltenen Fällen, in denen eine Magenspülung angezeigt ist, soll diese nur von qualifiziertem Personal durchgeführt werden. Eine Magenspülung ist nur angezeigt, wenn eine potenziell tödliche Menge an toxischen Substanzen angenommen wird und soll innerhalb einer Stunde nach der Einnahme durchgeführt werden [295]. Eine Magenspülung kann mit lebensbedrohlichen Komplikationen verbunden sein, z. B. Aspirationspneumonitis, Aspirationspneumonie, Perforation der Speiseröhre oder des Magens, Flüssigkeits- und Elektrolytstörungen oder Arrhythmien. Die Spülung ist kontraindiziert, wenn die Atemwege nicht geschützt sind und wenn ein Kohlenwasserstoff mit hohem Aspirationspotenzial oder eine ätzende Substanz aufgenommen wurde [296].

Die bevorzugte Methode zur gastrointestinalen Dekontamination bei Patienten mit intakten oder geschützten Atemwegen ist Aktivkohle, wobei die Evidenz für eine Verbesserung des Outcome begrenzt ist [287]. Die Gabe von Aktivkohle ist am effektivsten, wenn sie innerhalb von 1 h nach der Einnahme toxischer Substanzen erfolgt [297]. Die empfohlene Dosis beträgt 0,5–1 g/kg sowohl bei pädiatrischen als auch bei erwachsenen Patienten. Aktivkohle bindet Lithium, Schwermetalle und giftige Alkohole

le nicht. Die häufigsten Nebenwirkungen sind Erbrechen und Verstopfung. Wenn ätzende, reizende oder Kohlenwasserstoffe mit hohem Aspirationspotenzial aufgenommen wurden, ist Aktivkohle kontraindiziert, sofern die Atemwege nicht geschützt sind.

Eine anterograde Darmspülung kann nach Einnahme von potenziell toxischen Arzneimitteln mit verzögerter Freisetzung/beschichteten Arzneimitteln in Betracht gezogen werden. Dies gilt insbesondere für Patienten die sich später als 2 h nach der Einnahme der toxischen Substanz vorstellen, da bei diesen Aktivkohle weniger wirksam ist. Für Patienten, die erhebliche Mengen an Eisen, Lithium oder Kalium aufgenommen haben, kann eine anterograde Darmspülung in Betracht gezogen werden, da die Morbidität hoch ist und andere potenziell wirksame Optionen für die gastrointestinale Dekontamination fehlen. Eine anterograde Darmspülung kann auch zur Entfernung von aufgenommenen Paketen illegaler Drogen bei Drogenkurieren, sog. Body Packern, in Betracht gezogen werden. Es fehlen jedoch kontrollierte Daten, die eine Verbesserung des klinischen Ergebnisses nach Darmspülung belegen. Eine Spülung ist bei Patienten mit Darmverschluss, Perforation oder Ileus sowie bei Patienten mit hämodynamischer Instabilität oder beeinträchtigten ungeschützten Atemwegen kontraindiziert. Eine anterograde Darmspülung soll bei geschwächten und instabilen Patienten mit Vorsicht angewendet werden. Die gleichzeitige Verabreichung von Aktivkohle und Spülung kann die Wirksamkeit der Kohle verringern [298].

Die routinemäßige Verabreichung von Abführmitteln (Kathartika) muss vermieden werden. Emetika sollen ebenfalls nicht verwendet werden (z. B. Ipecac-Sirup; [299]).

Verbesserte Elimination

Ziel dieser Technik ist es, die Elimination bereits absorbierter Substanzen zu beschleunigen. Nichtinvasive Strategien umfassen Mehrfachdosisaktivkohle (MDAC) und forcierte Diurese mit oder ohne Urinalkalisierung. Invasive Techniken umfassen Hämodialyse, Hämofiltration, Plasmapherese.

Eine MDAC-Strategie, bei der über mehrere Stunden Aktivkohle verabreicht wird, kann die Ausscheidung für bestimmte Arzneimittel erhöhen [300, 301], insbesondere bei hohen Dosen toxischer Substanzen, Arzneimittel, die zur Bildung von Konvoluten (Bezoaren) neigen, Mittel, die die gastrointestinale Motilität verlangsamen, verzögerte Freisetzung oder bei Giftstoffen mit erhöhter biliärer Ausscheidung und enterohepatischer Zirkulation. Die MDAC-Anfangsdosis beträgt 1 g/kg, gefolgt von 0,25–0,5 g/kg alle 2–4 h.

Die forcierte Diurese ist eine sehr nützliche Technik für Arzneimittel mit erhöhter renaler Exkretion, geringer Proteinbindung und geringem Verteilungsvolumen. Indikationen sind Vergiftungen durch den Grünen Knollenblätterpilz (*Amanita phalloides*), Phenobarbital, Salicylate und Ethylenglykol.

Die Urinalkalisierung (Urin-pH $\geq 7,5$) beinhaltet eine intravenöse Natriumbikarbonatinfusion [302]. Diese wird am häufigsten bei Patienten mit Salizylatvergiftung durchgeführt, die keine Dialyse benötigen. Erwägen Sie bei schwerer Vergiftung durch Phenobarbital und Herbizide zusätzlich eine Urinalkalisierung mit forcierter Diurese (3–6 ml/kg/h). Hypokaliämie stellt die häufigste Komplikation dar [303].

Eine Hämodialyse entfernt Arzneimittel oder Metaboliten mit niedrigem Molekulargewicht, geringer Proteinbindung, geringen Verteilungsvolumina und hoher Wasserlöslichkeit. Verwenden Sie bei bestehender Hypotonie eine kontinuierliche venovenöse Hämofiltration (CVVH) oder eine kontinuierliche venovenöse Hämodialyse (CVVHD). Indikationen für eine Hämodialyse sind: Verschlechterung trotz Standardbehandlung; tödliche Serumspiegel einer toxischen Substanz oder sicher bestätigte potenziell tödliche Dosis; Patienten mit eingeschränkter Diurese oder Nierenschäden infolge der Vergiftung; Vergiftungen mit Substanzen, die hochgiftige Metaboliten produzieren. Hauptindikationen für eine Hämodialyse sind Vergiftungen mit Ethylenglykol, Methanol, Lithium, Barbituraten, Salizylaten, Paraquat [304].

Antidote

Antidote interagieren mit dem Toxin über verschiedene Mechanismen, sie machen es dadurch weniger wirksam und verringern oder stoppen seine biologischen Wirkungen. Obwohl die supportive Versorgung nach wie vor die Schlüsselbehandlung bei Vergiftungen ist, können Antidota manchmal lebensrettend sein oder die Morbidität sowie die für die Versorgung eines Patienten erforderlichen medizinischen und anderen Ressourcen verringern. In entlegenen, weit von Krankenhäusern entfernten Gebieten oder in Entwicklungsländern, in denen die Möglichkeiten zur supportiven Versorgung begrenzt sind und der Transport zu Behandlungszentren lange dauern kann, ist die Verfügbarkeit von Antidotem noch wichtiger [305, 306]. Nanoantidote sind in Entwicklung und haben sich in Proof-of-concept-Studien als wirksam erwiesen. Diese erfordern jedoch weitere klinische Validierung [307].

Spezifische toxische Substanzen

▣ Tab. 6

Spezielle Bedingungen

Medizinische Einrichtungen. Kreislaufstillstand im Operationssaal (OP)

Kreislaufstillstand im Operationssaal (OP) ist ein seltenes, aber lebensbedrohliches Ereignis mit einer Sterblichkeitsrate von mehr als 50 % [395, 396]. Befolgen Sie bei einem Kreislaufstillstand im OP den Algorithmus der ALS mit den entsprechenden Anpassungen. Die Inzidenz eines perioperativen Kreislaufstillstands ist bei Kindern, insbesondere bei Neugeborenen und Säuglingen, sowie bei älteren Patienten höher [397].

Starke Prädiktoren für den intraoperativen Kreislaufstillstand (IOCA) sind eine höhere Klassifikation der American Society of Anesthesiologists (ASA), akute Sepsis, Notfall-/Akutfall, Anästhesietechnik und Alter [395, 398]. Darüber hinaus gibt es verschiedene Faktoren wie Hypoxie, akuter Blutverlust mit Schock, Lungenembolie, Myokardinfarkt, Arrhythmie oder Elektrolytstörungen, die Ursache für einen intraoperativen Kreislaufstillstand sein oder dazu beitragen

können [395, 399, 400]. Zusätzliche Risikofaktoren für einen intraoperativen Kreislaufstillstand bei Patienten in Bauchlage, wie z.B. größerer Wirbelsäulen-chirurgie, können Luftembolie, Wundspülung mit Wasserstoffperoxid und verminderter venöser Rückfluss sein.

Dieser Abschnitt basiert auf den jüngsten Leitlinien der Europäischen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (ESAIC) und des ERC (27 PICO-Fragen; 28.221 gescreente Artikel/452 ausgewählte Veröffentlichungen).

Frühe Diagnose eines intraoperativen Kreislaufstillstands

In vielen Fällen eines intraoperativen Kreislaufstillstands erfolgt eine Verschlechterung der Physiologie allmählich; die Ursache des Kreislaufstillstands ist bekannt und daher wird der Stillstand antizipiert [401]. Wenn dies nicht der Fall ist, befolgen Sie den Algorithmus der erweiterten lebensrettenden Maßnahmen und priorisieren Sie die möglichen reversiblen Ursachen. Wenn sich der Patient verschlechtert, rufen Sie sofort nach Hilfe. Informieren Sie das gesamte Team über die Verschlechterung und einen möglicherweise bevorstehenden Kreislaufstillstand. Stellen Sie sicher, dass ausreichend qualifizierte Unterstützung vorhanden ist.

Hochrisikopatienten haben häufig eine invasive Blutdrucküberwachung (IABP), die für die Erkennung und Behandlung von Kreislaufstillständen von unschätzbarem Wert ist. Wenn ein Kreislaufstillstand sehr wahrscheinlich ist, soll ein Defibrillator in Bereitschaft sein. Bringen Sie vor Narkoseeinleitung selbstklebende Defibrillationselektroden an, sorgen Sie für einen ausreichenden venösen Zugang und bereiten Sie Reanimationsmedikamente und Infusionen/Transfusionen vor. Verwenden Sie Flüssigkeitswärmer und Druckluftwärmer, um eine perioperative Unterkühlung zu begrenzen und überwachen Sie die Temperatur des Patienten.

Thoraxkompression und Defibrillation

Bei erwachsenen Patienten mit intraoperativem Kreislaufstillstand und defibrillierbarem Rhythmus soll eine sofortige Defibrillation durchgeführt werden. Eine

Tab. 6 Spezifische Toxine

Toxin	First-Line-Therapie	Erwäge auch	Vermeide
Kardiovaskuläre und neurologische Medikamente			
<i>Digoxin</i>	Lidocaine – ventrikuläre Arrhythmien	Digoxin-Fab 80 mg, nach Bedarf wiederholt [308, 309]	Kalziumkanalblocker Antiarrhythmika Klasse 1a
<i>Kalziumkanalblocker</i>	I.v. Calcium 1–2 g alle 10–20 min/0,02–0,04 g/kg/h Hochdosiertes Insulin – Ziel Euglykämie, Katecholamine, Atropin [310–324]	Schrittmachertherapie VA-ECMO Intravenöse Lipidemulsion [325, 326]	–
<i>Betablocker</i>	Hochdosiertes Insulin – Ziel Euglykämie, Katecholamine [327–329]	Glukagon Intravenöse Lipidemulsion Phosphodiesterase-Inhibitoren [330–333]	–
<i>Trizyklische Antidepressiva</i>	Natriumbikarbonat – Ventrikuläre Breitenkomplex-Arrhythmien: 1–2 mmol/kg, Ziel pH 7,45–7,55 [334–340]	Intravenöse Lipidemulsion [341] [342, S. 1]	–
<i>Neuroleptika</i>	Natriumbikarbonat – Ventrikuläre Breitenkomplex-Arrhythmien: 1–2 mmol/kg, Dantrolen, Bromocriptin – malignes neuroleptisches Syndrom [343]	–	Dopamin Adrenalin Dobutamin [344, S. 55]
<i>Anticonvulsiva</i>	Natriumbikarbonat – Ventrikuläre Breitenkomplex-Arrhythmien: 1–2 mmol/kg, Dantrolen, Carnitin, Naloxon – Valproinsäure [345]	Hämodialyse ECLS – Carbamazepin [346, 347]	–
<i>Benzodiazepine</i>	–	Flumazenil [348, 349]	–
<i>Lokalanästhetika</i>	I.v. 20% Lipidemulsion, 1,5 ml/kg Bolus über 1 min, gefolgt von einer Infusion 0,25 ml/kg min ⁻¹ für bis zu 60 min. Bolus 2-mal wiederholen, maximale kumulative Dosis 12 ml/kg [341, 350–356]	–	–
Drogen			
<i>Opiode</i>	Naloxon 0,4–2 mg, alle 2–3 min wiederholen (starke Empfehlung, sehr niedrige Evidenz; [357, 358])	–	–
<i>Kokain</i>	Benzodiazepine zur Anfallskontrolle [359, 360]	Alpha-Blocker, Kalziumkanalblocker, Glyceroltrinitrat – Bluthochdruck [361–364]	Beta-Blocker nicht im Rahmen der Primärtherapie [365, 366] [367, S. 1]
<i>Amphetamine</i>	Benzodiazepine zur Anfallskontrolle	Cyproheptadin, Chlorpromazin, Ziprasidon – serotoninerges Syndrom [368–371]	–
Systemische Atemgifte			
<i>Zyanid</i>	Hydroxycobolamin 70 mg/kg/1–3 min [372, 373]	Natriumthiosulfat [374]	Amylnitrit, Natriumnitrit – nicht bei Inhalation [375, 376]
<i>Kohlenmonoxid</i>	Sauerstoff	Hyperbare Oxygenation [377–382]	–
<i>Schwefelwasserstoff</i>	Nitrit, Hydroxycobolamin [383–387]	–	–
<i>Kampfstoffe/Reizgase</i>	–	N-Acetylcystein – Phosgene [388]	–
<i>Organische Lösungsmittel und halogenierte Kohlenwasserstoffe</i>	–	Betablocker – Arrhythmien N-Acetylcystein – Hepato-toxizität [389, 390]	–
Biotoxine			
<i>Botulismustoxin</i>	Antitoxin [391, 392]	–	–
<i>Schlangengifte</i>	Antivenom	Polyvalentes Immun-Fab [393]	–
<i>Marine Biotoxine</i>	Antitoxin, Magnesium – Quallen [394]	–	–

hohe Inzidenz reversibler Ursachen des Kreislaufstillstands ist zu erwarten. Dies können eine Hypoxämie aufgrund von Atemwegsproblemen, Bronchospasmus oder Geräteausfall, eine durch Arzneimittelfehler verursachte Überdosierung, Hypovolämie aufgrund von Blutverlust, anaphylaktische Reaktion, Thromboembolie einschließlich Luftembolie und ein Spannungspneumothorax oder sogar eine Herzbeutelamponade nach der Anlage eines ZVK sein.

Die Mehrzahl der Ereignisse wird durch den Standard der erweiterten lebensrettenden Maßnahmen abgedeckt. Thoraxkompressionen sind jedoch bei Hypovolämie, Herzbeutelamponade oder Spannungspneumothorax nicht sehr wirksam (siehe entsprechender Abschnitt). Daher sollen Thoraxkompressionen die Behandlung dieser besonderen reversiblen Ursachen nicht verzögern. Um Thoraxkompressionen zu optimieren, sollen Position und Höhe des Operationstischs oder der Lafette angepasst werden. Eine Reanimation wird idealerweise in Rückenlage des Patienten durchgeführt, ist aber auch bei Patienten in Bauchlage möglich [402, 403]. Eine offene Kardiokompression soll im OP frühzeitig als wirksame Alternative zu Thoraxkompressionen betrachtet werden [401].

Atemwegsmanagement

Ein erweitertes Atemwegsmanagement (falls nicht bereits durchgeführt) und eine Beatmung mit 100 % Sauerstoff sollen so bald wie möglich durchgeführt werden [400].

Reversible Ursachen

Hypovolämie

Starten Sie je nach vermuteter Ursache eine Volumentherapie mit erwärmten Blutprodukten und/oder Kristalloiden, um das intravasculäre Volumen schnell wiederherzustellen. Initiieren Sie gleichzeitig eine sofortige Blutungskontrolle, z. B. durch chirurgische, endoskopische oder endovaskuläre Techniken [27]. Thoraxkompressionen sind nur dann von Nutzen, wenn das zirkulierende Volumen gleichzeitig ersetzt wird. Im Anfangsstadium einer Wiederbelebung sind kristalloide Lösungen akzeptabel. Bei massivem Blutverlust ist eine sofortige Transfusion von Blutprodukten erforderlich. Eine ge-

zielte Ultraschalluntersuchung kann helfen, die Ursache des Kreislaufstillstands zu erkennen und gezielte Wiederbelebnungsmaßnahmen einzuleiten (siehe Abschnitt Hypovolämie).

Anaphylaxie

Die Inzidenz einer immunvermittelten Anaphylaxie während einer Anästhesie reicht von 1 zu 10.000 bis 1 zu 20.000. Muskelrelaxanzien sind die häufigste Ursache und sind in 60 % der Fälle verantwortlich für das Auftreten. Die damit verbundene Morbidität und Mortalität sind hoch, insbesondere wenn es zu Verzögerungen bei Diagnose und Behandlung kommt [404]. Das primäre Management der Anaphylaxie beginnt nach Möglichkeit mit der Entfernung des Allergens und folgt dann dem ABCDE-Ansatz und den im Kapitel über Anaphylaxie beschriebenen Managementprinzipien. Adrenalin ist das wirksamste Medikament bei der Anaphylaxie und soll so früh wie möglich verabreicht werden. Im Gegensatz zu alternativen Anaphylaxieszenarien kann es für Anästhesisten angebracht sein, Adrenalin auf dem i.v. Weg zu verabreichen. Möglicherweise sind wiederholte Adrenalin Dosen erforderlich (siehe Abschnitt Anaphylaxie unten).

Systemische Toxizität von Lokalanästhetika

Kreislaufstillstand ist eine seltene, aber allgemein anerkannte Komplikation einer Überdosierung mit Lokalanästhetika (LA), insbesondere nach versehentlicher intravasculärer Injektion. Die direkte Wirkung der LA auf Herzmuskelzellen führt zu einem kardiovaskulären Kollaps, üblicherweise innerhalb von 1 bis 5 min nach der Injektion. Der Beginn kann jedoch zwischen 30 s und 60 min liegen [405]. Signifikante Hypotonie, Rhythmusstörungen und Krampfanfälle sind typische Manifestationen, allerdings handelt es sich bei der systemischen Toxizität von Lokalanästhetika um eine Ausschlussdiagnose [292]. Die intravenöse Lipidtherapie („lipid rescue“) wird als Notfalltherapie zur Behandlung von Herz-Kreislauf-Kollaps und Kreislaufstillstand eingesetzt, ihre Wirksamkeit ist jedoch umstritten [406]. Da kein Schaden eines „lipid rescue“ dokumentiert wurde, empfehlen die Leitlinien, dass eine 20%ige Lipidemulsion überall

dort verfügbar ist, wo Patienten große Dosen LA erhalten (z. B. in Operationssälen, in der Geburtshilfe und in der Notaufnahme; [407]). Stoppen Sie die Injektion des LA und rufen Sie nach Hilfe. Öffnen und sichern Sie die Atemwege und intubieren Sie nötigenfalls endotracheal. Geben Sie 100 % Sauerstoff und sorgen Sie für ausreichende Atmung, gegebenenfalls beatmen Sie (Hyperventilation kann durch Erhöhung des Plasma-pH-Werts einer metabolischen Azidose entgegenwirken). Beenden Sie gegebenenfalls Anfälle mit einem Benzodiazepin, Barbiturat oder mit Propofol. Geben Sie eine erste i.v. Bolusinjektion 20%iger Lipidemulsion mit 1,5 ml/kg über 1 min und beginnen Sie dann eine Infusion mit 15 ml/kg/h. Wenn ein ROSC nach 5 min nicht erreicht wurde, verdoppeln Sie die Lipidinfusionsrate und geben Sie in Abständen von 5 min maximal zwei zusätzliche Lipidboli, bis ein ROSC erreicht ist. Überschreiten Sie nicht die maximale kumulative Dosis von 12 ml/kg [408, 409]. Wenn der Patient nicht auf die Behandlung anspricht, soll eine extrakorporale Reanimation in Betracht gezogen werden.

Crew Resource Management

Jedes Wiederbelebnungsereignis soll eine definierte Teamleitung haben, die alle Mitarbeitenden und die Komponenten der Wiederbelebung leitet und koordiniert, wobei der Schwerpunkt auf der Minimierung der No-flow-Zeiten und der gleichzeitigen Behebung der reversiblen Ursachen liegt. Die Operation muss abgebrochen werden, es sei denn, sie gilt der Beendigung einer reversiblen Ursache des Kreislaufstillstands. Um einen notwendigen Zugang zur Durchführung der Reanimation zu gewährleisten, kann es erforderlich sein, das Operationsfeld abzudecken und das Operationsteam vom Patienten abtreten zu lassen. Teamaufgaben sollen priorisiert, lebensrettende Basismaßnahmen von guter Qualität sichergestellt, relevante umkehrbare Ursachen identifiziert und nicht priorisierte Aufgaben vermieden werden. Wenn der Patient nicht auf Reanimationsmaßnahmen reagiert (d. h. EtCO₂ < 2,7 kPa/20 mm Hg), muss die Qualität der Reanimation verbessert werden [410].

Tab. 7 Häufige Ursachen für eine Verschlechterung des Patienten nach einer Herzoperation sowie deren Behandlung

Blutung	Behandeln Sie eine Unterkühlung und Bluthochdruck, vermeiden Sie Hämodilution
– „Medizinische“ Blutung: postoperative Koagulopathie	Erwägen Sie die Transfusion von Blutprodukten und die Verwendung von Hämostatika, basierend auf hämatologischen Untersuchungen
– „Chirurgische“ Blutung: operatives Trauma	Überprüfen Sie die Drainagen, um aktive Blutungen festzustellen. Führen Sie eine Echokardiographie durch, um eine Herztamponade auszuschließen – bei Verdacht muss eine frühzeitige Reoperation in Betracht gezogen werden
Niedriges Herzzeitvolumen	Führen Sie eine Echokardiographie durch, um die ventrikuläre Funktion zu beurteilen
– Unzureichende Vorlast	Stellen Sie eine ausreichende ventrikuläre Füllung sicher
– Erhöhte Nachlast	Korrigieren Sie eine systemische Vasokonstriktion
– Verminderte ventrikuläre Kontraktilität	Erhalten Sie die atrioventrikuläre Koordination aufrecht
– Diastolische Dysfunktion	Korrigieren Sie metabolische Störungen und eine Hypokalziämie
	Erwägen Sie eine inotrope oder mechanische Kreislaufunterstützung
Prothesen- oder Ventilversagen	Überprüfen Sie, ob EKG-Veränderungen vorliegen
	Führen Sie eine Echokardiographie durch
	Erwägen Sie eine perkutane Intervention oder eine Reoperation
Arrhythmien	Korrigieren Sie Elektrolytstörungen
	Erwägen Sie die elektrische Kardioversion oder eine Schrittmacherstimulation
Vasodilatation	Korrigieren Sie spezifische zugrundeliegende Ursachen
– Erwärmen	Erwägen Sie eine hämodynamisch gesteuerte i.v. Flüssigkeitstherapie
– Analgetika/Sedativa	Erwägen Sie eine Vasopressortherapie
– Sepsis	
– Anaphylaxie	
– Nebenniereninsuffizienz	
– Vasoplegisches Syndrom	

Ein erfolgreiches Management des intraoperativen Kreislaufstillstands erfordert nicht nur individuelle technische Fähigkeiten und eine gut organisierte Teamreaktion, sondern auch eine institutionelle Sicherheitskultur, die durch kontinuierliche Aus- und Weiterbildung und multidisziplinäre Zusammenarbeit in die tägliche Praxis eingebettet ist. Entsprechende institutionelle Protokolle (z. B. Massentransfusionsprotokolle) und Checklisten tragen dazu bei, die Reaktion auf einen Kreislaufstillstand im Operationssaal zu optimieren.

Postreanimationsbehandlung

Es gibt keine Evidenz für die Anwendung einer sofortigen Hypothermie im Vergleich zu keiner Hypothermie nach intraoperativem Kreislaufstillstand bei Erwachsenen. Nur ein einziger Fallbericht zeigte eine vollständige neurologische Erholung und die Daten deuten auf ein verbessertes neurologisches Ergebnis hin [411]. Im Rahmen der allgemeinen Postreanimationsbehandlung soll aber ein gezieltes Temperaturmanagement eingeleitet werden.

Herzchirurgie

Die Inzidenz eines Kreislaufstillstands nach einer Herzoperation wurde in jüngsten Serien mit etwa 2–5% angegeben, wobei die Überlebensraten (etwa 50%) im Vergleich zu anderen Szenarien höher waren [412–415]. Dies ist weitgehend durch die Tatsache begründet, dass viele der Ursachen reversibel sind. Zu den Hauptursachen für einen Kreislaufstillstand in dieser Situation gehört Kammerflimmern (VF), das bis zu 50% der Fälle ausmacht, gefolgt von Herzbeutel-tamponade und starken Blutungen, die häufig von einer PEA begleitet sind.

Evidenzbasierte Empfehlungen für die Behandlung des Kreislaufstillstands nach einer Herzoperation stammen aus den ILCOR-CoSTR-Dokumenten 2019 und 2018 [102, 416], den Leitlinien der Europäischen Vereinigung für Herz-Thorax-Chirurgie (EACTS) [417, 418] und dem Konsensdokument der Society of Thoracic Surgeons (STS) zur Wiederbelebung von Patienten, die nach einer Herzoperation in einen Kreislaufstillstand geraten [419]. Eine zusätzliche gezielte Literaturrecherche wurde durchgeführt, um Evidenz zu aktualisieren, und innerhalb der

Schreibgruppe wurde ein Konsens erzielt, um diese Empfehlungen festzulegen.

Vorbeugen und Vorbereiten.

Sicherstellung einer angemessenen Schulung des Personals in den technischen Fertigkeiten der Wiederbelebung bzw. erweiterten lebensrettenden Maßnahmen (Abb. 11 und Suppl. S3).

Mitarbeiter, die an der Versorgung von postoperativen Herzpatienten beteiligt sind, sollen eine angemessene Grundschulung und regelmäßige Auffrischungen erhalten. Diese sollen technische Fertigkeiten zur Wiederbelebung und ALS, inklusive Schulungen zur Durchführung einer notfallmäßigen Resternotomie umfassen. Den Mitarbeitern auf der Intensivstation (ICU) sollen im Vorfeld Rollen zugewiesen werden, um die Koordination im Ernstfall zu erleichtern [420].

Sicherstellung der Verfügbarkeit und Funktionsfähigkeit von Notfallausrüstung.

Die gesamte Notfallausrüstung soll lokalisiert, angemessen gekennzeichnet und regelmäßig überprüft werden. Resternotomiesets, die nur die wesentlichen chirurgischen Instrumente für eine Sternotomie enthalten, sollen dabei

Bestandteil der Notfallausrüstung sein [418, 419].

Verwendung von Sicherheitschecklisten. Sicherheitschecklisten, die erstmals von der Weltgesundheitsorganisation in der Chirurgie eingesetzt wurden, haben nachweislich Komplikationen und die Mortalität nichtkardialer Operationen verringert und sollen daher eingesetzt werden [421]. Spezifische Checklisten die für die Herz-Thorax-Chirurgie entwickelt wurden (Blutungskontrolle, Perfusion und Intensivbehandlung) sollen ebenfalls implementiert werden [417].

Erkennen des Kreislaufstillstands und Aktivierung des Kreislaufstillstandsprotokolls. Erkennung und Behandlung von Verschlechterungen bei postoperativen Herzpatienten

Bei postoperativen Patienten können bei sorgfältiger Untersuchung und Überwachung bereits frühzeitig Anzeichen einer Zustandsverschlechterung festgestellt werden. Eine Hypotonie wird bei verschiedenen Komplikationen häufig beobachtet (■ Tab. 7; [422, 423]). Bei hämodynamischer Instabilität soll eine Echokardiographie durchgeführt werden, wobei eine transösophageale Durchführung eine genauere Diagnose erlaubt [424]. Die kontinuierliche EKG-Überwachung ermöglicht die frühzeitige Erkennung von Arrhythmien – wobei supraventrikuläre Tachykardien am häufigsten auftreten [425].

Bestätigen Sie den Kreislaufstillstand mithilfe klinischer Symptome und pulsloser Druckwellenformen

Ein Kreislaufstillstand kann festgestellt werden, indem der Herzrhythmus am EKG-Monitor überprüft, eine fehlende Zirkulation durch klinische Untersuchung und Kontrolle der Vitalfunktionen – einschließlich pulsloser Druckwellenformen (arterieller, zentralvenöser und pulmonaler Arterien- und Pulsoxymetrie) und eine rasche Abnahme des endtidalen CO₂-Werts festgestellt wird [418, 419].

Hilferuf und Aktivierung des Kreislaufstillstandsprotokolls

Sobald der Kreislaufstillstand festgestellt wird, muss unverzügliche Hilfe geholt

werden und wenn verfügbar, das Kreislaufstillstandsprotokoll aktiviert werden.

Reanimation und Behandlung möglicher Ursachen

Änderungen am universellen ALS-Algorithmus beinhalten die sofortige Korrektur reversibler Ursachen sowie, falls dies nicht erfolgreich ist, eine notfallmäßige Resternotomie [418, 419].

Stellen Sie einen Herzrhythmus mit Auswurf wieder her

Bei Patienten mit VF/pVT soll die Defibrillation mit bis zu drei aufeinanderfolgenden Schocks priorisiert werden; die externen Thoraxkompressionen können in dieser Situation bis zu einer Minute verzögert werden [426, 427]. Wenn die Defibrillationen nicht erfolgreich sind, wird eine sofortige Resternotomie empfohlen [427]. Bei Asystolie oder extremer Bradykardie soll zunächst eine Minute lang die epikardiale Schrittmacherstimulation (DDD-Modus bei 80–100 Schlägen min⁻¹ und bei maximalen Ausgangsspannungen) oder eine transkutane Schrittmacherstimulation erfolgen – externe Thoraxkompressionen können in diesem Fall bis zu einer Minute verzögert werden. Bei Vorliegen einer PEA muss sofort mit externen Thoraxkompressionen begonnen, nach reversiblen Ursachen gesucht sowie eine frühe Resternotomie vorbereitet werden. Bei Vorhandensein eines pulslosen, durch einen Schrittmacher stimulierten Rhythmus soll die Stimulation unterbrochen werden, um ein eventuell zugrundeliegendes Kammerflimmern zu demaskieren, und dieses, falls indiziert, zu defibrillieren [418, 419].

Thoraxkompressionen und Beatmungen

Kann durch Defibrillationen oder eine Schrittmacherstimulation kein ROSC erreicht werden oder liegt eine PEA vor, sollen während der Vorbereitung auf eine notfallmäßige Resternotomie mit Thoraxkompressionen und Beatmungen begonnen werden. Externe Thoraxkompressionen sollen mit einer Frequenz von 100 bis 120 min⁻¹ durchgeführt werden, um einen systolischen Blutdruck > 60 mm Hg zu erreichen. Wenn dieser Wert trotz qualitativ hochwertiger Thoraxkompressionen nicht erreicht wird, kann dies auf eine Herzbeuteltampona-

de oder eine schwere Blutung hinweisen [418, 419]. Im Vergleich zu externen Thoraxkompressionen bietet die interne Herzmassage einen besseren koronaren und systemischen Perfusionsdruck, allein aufgrund dieser Tatsache kann eine Resternotomie gerechtfertigt sein [428, 429]. Das Atemwegsmanagement wird wie im standardisierten ALS-Ablauf durchgeführt [100]. Bei beatmeten Patienten sollen Position und Lage des Trachealtubus überprüft, der inspiratorische Sauerstoff auf 100% erhöht und der positive endexpiratorische Druck ausgeschaltet werden. Bei Verdacht auf einen Spannungspneumothorax soll eine notfallmäßige Entlastung durchgeführt werden [418, 419].

Medikamente während der Wiederbelebung

Grundsätzlich soll die Gabe aller Medikamente, die nicht zur Wiederbelebung erforderlich sind, mit Ausnahme von Sedativa gestoppt werden. Amiodaron (300 mg) oder Lidocain (100 mg) können nach drei erfolglosen Defibrillationen zur Behandlung von VF/pVT i.v. verabreicht werden. Diese Empfehlung entstammt der Forschung des präklinischen Kreislaufstillstands (schwache Empfehlung, geringe Evidenz; [416, 419]). Die Verwendung von Adrenalin (1 mg) kurz nach einer Herzoperation ist umstritten. Die Europäische Vereinigung für Herz-Thorax-Chirurgie (EACTS) und die Society of Thoracic Surgeons (STS) raten von der routinemäßigen Verwendung von Adrenalin ab [418, 419], da dieses Blutungen oder Störungen der chirurgischen Anastomosen nach ROSC verursachen kann. Niedrigere Dosen (50–300 µg Boli) können in Periarrestsituationen in Betracht gezogen werden (Expertenkonsens; [419, 430]). Das ILCOR-CoSTR-Dokument 2019 enthält einen speziellen Abschnitt zur Rolle von Vasopressoren bei Kreislaufstillständen von Erwachsenen, basierend auf einem von ILCOR in Auftrag gegebenen systematischen Review und einer Metaanalyse [239, 431]. Basierend auf einer höheren Rate eines ROSC und Überleben bei Krankenhausentlassung wurde die Empfehlung, 1 mg Adrenalin während der CPR zu verabreichen beibehalten (starke Empfehlung, geringe bis mäßige Evidenz). Obwohl

nur wenige randomisierte Studien für die Anwendung bei innerklinischem Kreislaufstillstand vorlagen, wurden die Empfehlungen für die Gabe bei einem präklinischen Kreislaufstillstand erweitert. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es zwar keine ausreichende Evidenz gibt, um Empfehlungen für den Einsatz von Adrenalin bei postoperativen Herzpatienten zu geben, aber in Anbetracht der potenziellen Risiken einer starken adrenalininduzierten Hypertonie in diesem speziellen Setting, soll die Gabe von 1 mg Adrenalin bei Patienten, die kurz nach einer Herzoperation kollabieren, vermieden werden, wenn Defibrillationen und eine frühe Resternotomie den Kreislauf wahrscheinlich wiederherstellen können. In Periarrestsituationen können jedoch niedrigere Adrenalindosen in Betracht gezogen werden [418, 419, 430].

Frühe Resternotomie

Der refraktäre Kreislaufstillstand erfordert die Durchführung einer Resternotomie innerhalb von 5 min, um eine interne Herzmassage oder Defibrillation durchführen zu können und schließlich die zugrundeliegenden Ursachen zu beheben. Die Resternotomie ist in der Intensivmedizin als sicheres Verfahren etabliert [432] und führt zu signifikant höheren Überlebensraten, insbesondere wenn es mit minimaler Verzögerung und bei Vorhandensein eines chirurgisch lösbaren Problems durchgeführt wird [433]. Die Resternotomie soll als Teil des Wiederbelebungsprotokolls von postoperativen Herzpatienten bis mindestens Tag 10 nach der Operation erwogen werden [419].

Kreislaufunterstützende Systeme

Eine intraaortale Ballonpumpe kann bei der Behandlung eines Kreislaufstillstands zur Verbesserung der Koronar- und Gehirnperfusion beitragen, wenn sie mit den Thoraxkompressionen synchronisiert wird (Verhältnis 1:1, maximale Verstärkung). Der EKG-Trigger der Pumpe funktioniert während der Wiederbelebung nicht zuverlässig, die Pumpe soll daher in den Druck-Trigger umgeschaltet werden. Werden die Thoraxkompressionen für einen signifikanten Zeitraum unterbrochen, soll die Pumpe in den internen Modus mit

100 Aktionen min^{-1} geschaltet werden. Kann der Kreislaufstillstand mit den vorgenannten Maßnahmen nicht erfolgreich behandelt werden, stellt die ECPR eine Behandlungsoption dar. Gleiches gilt nach minimal-invasiver kardiochirurgischer Intervention oder wenn die Operation länger als 10 Tage zurückliegt [419]. Es gibt jedoch nur begrenzte Daten zu diesem speziellen Szenario, da die meisten Studien den Nutzen des Verfahrens im kardiogenen Schock untersucht oder sich auf pädiatrische Patienten bezogen haben. Bei einer kleinen Gruppe von 24 erwachsenen Patienten, die eine ECPR-Unterstützung für einen postoperativen Kreislaufstillstand erhielten, konnte von einer insgesamt erfolgreichen Entwöhnung durch extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO) bei 16 Patienten (66,7%) berichtet werden, von denen 8 bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus überlebten (33,3%) Die meisten Patienten verstarben aufgrund von Multiorganversagen [434].

Herzkatheterlabor

In den letzten Jahren hat sowohl die Erkrankungsschwere der Patienten als auch die Komplexität der Eingriffe im Herzkatheterlabor zugenommen. Koronarinterventionen oder die Versorgung mit ventrikulären Assistenzsystemen werden zunehmend bei schwerer vorerkrankten Patienten durchgeführt. Auch die Zahl struktureller Interventionen am Herzen zumeist an Hochrisikopatienten, die nicht operationsfähig sind (perkutane Klappenersatz oder -rekonstruktion, Versorgung von Leckagen und Septumdefekten sowie Pathologien der Vorhöfe), nimmt stark zu. Im Herzkatheterlabor kann ein Kreislaufstillstand sowohl bei kritisch kranken Patienten (kardiogener Schock aufgrund eines ausgedehnten Myokardinfarkts) auftreten als auch bei stabilen Patienten, die sich potenziell gefährlichen elektiven Verfahren unterziehen. Risiken resultieren hier sowohl aus technischen als auch aus menschlichen Faktoren.

Zur globalen Inzidenz für Kreislaufstillstand im Katheterlabor gibt es aktuell keine belastbaren Daten. Registerdaten beziehen sich hauptsächlich auf die PCI und zeigen Inzidenzen, die stark vom

präprozeduralen Risiko des Patienten abhängen [435, 436].

Die evidenzbasierten Empfehlungen stammen aus den ILCOR-CoSTR-Dokumenten [239, 437, 438] und den systematischen ILCOR-Reviews [273], dem Expertenkonsensus der European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventionen (EAPCI), der Gesellschaft für kardiovaskuläre Angiographie und Interventionen (SCAI; [439]) und dem International ECMO Network, der Extracorporeal Life Support Organization (ELSO; [440]) sowie einer gezielten Literaturrecherche. Bei unzureichender Qualität der vorhandenen Evidenz wurden die Empfehlungen durch die Experten in der Arbeitsgruppe festgelegt.

Vorbeugen und Vorbereiten. Sicherstellung einer angemessenen Schulung des Personals in technischen Fertigkeiten und ALS

Das im Herzkatheterlabor tätige Personal soll angemessen in technischen Fertigkeiten zur Wiederbelebung und ALS, einschließlich Team- und Führungstraining geschult sein ([437]; **Abb. 12** und Suppl. S1). Protokolle für bestimmte Notfallverfahren (z. B. Einleitung einer mechanischen CPR, transkutane oder transvenöse Notfallstimulation, Perikardiozentese, ventrikuläre Assistenzsysteme) sollen erstellt werden. Notfallübungen im Katheterlabor sollen in Betracht gezogen werden, um die Umsetzung zu erleichtern und die Einarbeitung des Personals zu ermöglichen [439].

Sicherstellung der Verfügbarkeit und Funktionsfähigkeit von Notfallausrüstung

Notfallausrüstung soll eindeutig gekennzeichnet sein und das Personal soll den Standort kennen, um Verzögerungen im Notfall zu minimieren. Die ordnungsgemäße Funktion soll regelmäßig überprüft werden.

Verwendung von Sicherheitschecklisten

Die Verwendung von Sicherheitschecklisten zur Vermeidung von menschlichen Fehlern sollen gefördert werden [439, 441, 442]. Dies dient der Reduktion von Komplikationen, einer verbesserten

Teamkommunikation – und Performance [443].

Erkennen des Kreislaufstillstands und Aktivierung des Kreislaufstillstandsprotokolls

Überprüfen Sie den Status des Patienten und überwachen Sie regelmäßig die Vitalfunktionen

Die kontinuierliche Überwachung der Vitalfunktionen (invasiver Blutdruck, Herzfrequenz und Rhythmus, Puls-oxymetrie, Kapnographie) erleichtert die Früherkennung und Behandlung von Komplikationen, um eine weitere Verschlechterung zu verhindern. Während einer PCI, einer Septumablation oder eines transaortalen Klappenersatzes (TAVR) kann eine hochgradige atrioventrikuläre Blockade auftreten; Brustschmerzen, hämodynamische Instabilität und ST-Erhöpfung im EKG können ein Warnzeichen für eine akute Stentthrombose während einer PCI oder ein Hinweis auf einen Verschluss des Koronarostiums während einer TAVR sein. Eine plötzliche Hypotonie erfordert den Ausschluss einer Perikardtamponade (aufgrund einer Koronarperforation, einer Perforation der Vorhof-/Ventrikelwand oder einer Annulusruptur während einer Ballonvalvotomie oder TAVR) oder einer Hypovolämie bei Gefäßkomplikationen. Defibrillationselektroden sollen bei allen STEMI-Patienten angebracht und bei komplexen PCI- oder Hochrisikopatienten in Betracht gezogen werden [439].

Echokardiographie bei hämodynamischer Instabilität oder Verdacht auf Komplikationen

Die Echokardiographie kann zur Erkennung von Komplikationen beitragen und soll bei hämodynamischer Instabilität zeitnah durchgeführt werden. Steht eine transösophageale Echokardiographie zur Verfügung, so kann diese aufgrund der besseren Bildqualität für eine schnellere und genauere Identifizierung der Komplikationen beitragen [424].

Hilferuf und Aktivierung des Kreislaufstillstandsprotokolls

Sobald der Kreislaufstillstand bestätigt wurde, soll umgehend das Reanimationsteam alarmiert werden. Selbst wenn das Personal im Herzkatheterlabor un-

verzüglich eine Wiederbelebung einleitet, kann zusätzliche Unterstützung erforderlich sein, um eine fortlaufende Reanimation zu ermöglichen und zeitgleich spezifische Verfahren zur Behandlung möglicher Ursachen für den Kreislaufstillstand durchzuführen (PCI, Perikardiozentese, invasive Stimulation). Führungspersonen und weitere Rollenzuweisungen sollen während der Reanimation eindeutig erkennbar sein, um insbesondere wenn neue Helfer dazukommen, eine koordinierte und effektive Leistung des Teams sicherzustellen.

Reanimation und Behandlung möglicher Ursachen.

Reanimation nach modifiziertem ALS-Algorithmus

Der Kreislaufstillstand im Herzkatheterlabor erfordert einige Anpassungen des ALS-Algorithmus [100]. Bei beobachtetem Auftreten von VF/pVT soll die Defibrillation mit bis zu drei aufeinanderfolgenden Schocks durchgeführt werden. Erst danach werden die Thoraxkompressionen begonnen, falls der Patient weiter im Kreislaufstillstand ist. Bei Asystolie oder PEA wird die Reanimation gemäß dem universellen ALS-Algorithmus durchgeführt.

Suche nach reversiblen Ursachen unter Nutzung von Echokardiographie und Angiographie. Bei nichtschockbaren Rhythmen ist das Erkennen und die Behandlung der reversiblen Ursachen von wesentlicher Bedeutung. Echokardiographie und Angiographie sollen hierfür als Hilfsmittel erwogen werden. Die Point-of-Care-Sonographie (POCUS) kann dabei helfen, reversible Ursachen für einen Kreislaufstillstand zu identifizieren. Es muss allerdings darauf geachtet werden, die Unterbrechung der Thoraxkompressionen zu minimieren [444–446]. Die transösophageale Echokardiographie kann hier vorteilhaft sein, um eine qualitativ hochwertige, kontinuierliche Beurteilung zu ermöglichen, ohne die Wiederbelebungsbemühungen zu beeinträchtigen [447, 448].

Mechanische Thoraxkompressionen und Systeme zur perkutanen Kreislaufunterstützung

Ein Cochrane-Review, der 11 Studien umfasste, konnte im Vergleich von me-

chanischer CPR zu manuellen Thoraxkompressionen bei erwachsenen Patienten mit IHCA- oder OHCA-Arrest keine Überlegenheit der mechanischen gegenüber der herkömmlichen CPR nachweisen. Die Rolle der mechanischen CPR wurde jedoch als vernünftige Alternative in Umgebungen anerkannt, in denen hochwertige Thoraxkompressionen für den Helfer nicht möglich oder gefährlich sind [272]. Bei der Durchführung einer qualitativ hochwertigen manuellen CPR im Herzkatheterlabor kann es zu erheblichen Strahlenbelastungen der Helfer kommen. Aus diesem Grund soll in diesem Bereich eine mechanische CPR in Betracht gezogen werden.

Perkutane ventrikuläre Unterstützungssysteme (intraaortale Ballonpumpe, Impella® [Abiomed, Danvers, MA, USA] [449] oder TandemHeart® [TandemHeart, LivaNova PLC, London, GB]) bieten möglicherweise Kreislaufunterstützung bei der Durchführung von Wiederbelebungsmaßnahmen – ihr Nutzen ist derzeit jedoch nicht umfassend belegt. Die venoarterielle extrakorporale Membranoxygenierung (VA-ECMO) bietet sowohl Kreislauf- als auch Lungenunterstützung und kann bei Kreislaufstillstand eingesetzt werden (extrakorporale Lebenserhaltung, ECPR). Es gibt jedoch keine ausreichende Evidenz, um eine solche Strategie generell zu empfehlen [239]. Ein aktueller systematischer Review zum Vergleich von ECPR, manueller Thoraxkompressionen zu ECPR oder mCPR zeigte aus 7 Studien ein besseres Ergebnis für ECPR beim IHCA für Erwachsene. Die interne Validität der aus Beobachtungsstudien generierten Daten ist allerdings stark eingeschränkt [273]. Andere, kleinere Fallserien haben über die erfolgreiche Anwendung von ECPR bei refraktärem Kreislaufstillstand im Krankenhaus aufgrund eines akuten Myokardinfarkts [450] oder einer komplizierten PCI oder TAVR berichtet [451]. Soll eine ECPR zum Einsatz kommen, soll dies frühzeitig und bereits vor vollständiger Ausschöpfung der konventionellen Maßnahmen initiiert werden [440, 452]. Eine kurze Low-flow-Zeit unter CPR ist ein Schlüsselfaktor für den Erfolg des Verfahrens [453]. Bis zur Verfügbarkeit einer besseren Evidenz

auf Basis randomisierter Studien sollen die Entscheidungen zur Verwendung von ECPR oder anderen ventrikulären Hilfsmitteln an den speziellen Fall, die Verfügbarkeit und die Kompetenz des Teams angepasst werden.

Dialyse

Dialysepatienten in Langzeittherapie sind eine der Gruppen mit dem höchsten Risiko für einen Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses (OHCA) u. a. in den Dialysezentren. Ein Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses tritt bei Dialysepatienten 20-mal häufiger auf als in der Allgemeinbevölkerung [454]. Kreislaufstillstände in einer Dialyseklarinik sind überwiegend beobachtete Ereignissen und können vor, während oder nach der Dialysebehandlung auftreten. Studien, die den Zeitpunkt des Kreislaufstillstands im Zusammenhang mit der Dialyse untersuchen, haben berichtet, dass 70–80 % der Kreislaufstillstände während der Dialyse auftraten [455–457]. Zu den Risikofaktoren für einen Kreislaufstillstand bei Langzeitdialysepatienten gehören Hyperkaliämie, übermäßige Volumenverschiebungen während der Dialyse, die zweitägige Dialysepause, Dialysat mit niedriger Kaliumkonzentration, Herzerkrankungen und Nichteinhaltung der Diät- und Dialyseschemata [458–463]. In den ersten 12 h nach Beginn der Dialyse ist das Risiko für einen Kreislaufstillstand erhöht [458]. Aufgrund des steigenden Kaliumspiegels und möglicher Flüssigkeitsretention ist das Ende der zweitägigen Dialysepause (z. B. Wochenendpause) der Zeitraum mit dem höchsten Risiko [458, 460]. Historisch wurde das Ergebnis eines IHCA bei Dialysepatienten als eher schlecht eingestuft [464]. Dies war zum Teil in der Reanimationsstrategie begründet, lag aber auch an der vermuteten Aussichtslosigkeit. Frühere Studien haben bei Dialysepatienten im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung ein geringeres Überleben nach IHCA gezeigt [465, 466]. Eine kürzlich durchgeführte Studie zeigte jedoch eine höhere ROSC-Rate (69 % vs 62 %), eine vergleichbare Rate an Krankenhausentlassungen (23 % vs 22 %) und eine etwas größere Häufigkeit eines günstigen neurologischen Status

(17 % vs 16 %) bei Dialysepatienten im Vergleich zu Nichtdialysepatienten [460]. Unzureichende Durchführungen der Reanimationsmaßnahmen sind sowohl für OHCA als auch für IHCA beschrieben. Mängel fanden sich bei Einleitung der CPR und der Zeit bis zur ersten Defibrillation bei Dialysepatienten mit schockbaren Rhythmen [460]. Es gibt darüber hinaus spezielle Überlegungen bezüglich der Herangehensweise an einen Kreislaufstillstand, der während einer Dialysebehandlung in einer Dialyseklarinik eintritt.

Die Empfehlungen basieren auf einem Scoping-Review und den kürzlich aktualisierten Hyperkaliämieleitlinien der UK Renal Association [116]. Für den Scoping Review wurden die folgenden Datenbanken durchsucht – PubMed (1960–2019), Ovid MEDLINE (1946–2019), EMBASE (1974–2019), Science Direct (1995–2019), The Cochrane Library (1995–2019), Web of Knowledge (2001–2019). Die Suche umfasste alle in englischer Sprache veröffentlichten Humanstudien zu Kreislaufstillstand und Hämodialyse. Die Webseitensuche umfasste das Nationale Institut für Exzellenz in Gesundheit und Pflege (NICE), das Scottish Medicines Consortium (SMC), das Healthcare Improvement Scotland, die Regulierungsbehörde für Arzneimittel und Gesundheitsprodukte (MHRA) und die Europäische Arzneimittel-Agentur (EMA). Es konnten keine randomisierten kontrollierten Studien gefunden werden. Die Evidenz für diese Empfehlungen wurde daher aus Beobachtungsstudien abgeleitet. Die Hyperkaliämieleitlinie der Renal Association UK (2019) nutzte diesen Scoping-Review und den Expertenkonsens, um Empfehlungen für die Behandlung eines Kreislaufstillstands in Dialyseeinrichtungen zu entwickeln.

Prävention eines Kreislaufstillstands bei Dialysepatienten. Hyperkaliämie und Volumenüberlastung sind häufige Ursachen für einen Kreislaufstillstand bei Dialysepatienten. Die Präventionsmaßnahmen beruhen weitgehend auf Einschränkungen der Ernährung, der restriktiven Flüssigkeitszufuhr sowie auf dialysebezogenen Faktoren. Obwohl es

häufig schwierig ist, dreimal wöchentlich eine Erhaltungsdialyse durchzuführen, kann eine sorgfältige Durchführung der Dialyse das Risiko eines Kreislaufstillstands verringern [455, 459, S. 218, 467].

Behandlung eines Kreislaufstillstands.

Erste Schritte

Die Wiederbelebung soll nach dem universellen ALS-Algorithmus begonnen werden. Die Bedienung des Dialysegeräts soll durch eine ausgebildete Dialysekraft erfolgen. Das Dialysegerät soll gestoppt und das Blutvolumen zusammen mit einem Flüssigkeitsbolus an den Patienten zurückgegeben werden. Solange das Dialysegerät nicht defibrillationssicher ist, soll es gemäß den Standards des International Electrotechnical Committee (IEC) vom Patienten getrennt werden. Der Dialysezugang soll offen gehalten werden, um darüber Medikamente applizieren zu können.

Modifikationen der kardiopulmonalen Wiederbelebung

Defibrillation

Häufig werden Dialyseklariniken durch Pflegepersonal geführt. Zur Notfallversorgung in Dialyseeinheiten steht üblicherweise ein automatisierter externer Defibrillator (AED) zur Verfügung. Unsicherheit und mangelndes Training der Mitarbeiter kann sich auf die Defibrillation durch Pflegekräfte auswirken und gegebenenfalls dazu führen, dass ein Einsatz des AED nicht stattfindet [468]. Wird die Reanimation bereits durch das Personal der Dialyseeinrichtung begonnen, verdreifacht sich die Chance des Patienten auf Krankenhausentlassung mit günstigem neurologischem Status. Dieselbe Studie zeigte auch einen Trend zu einem verbesserten Überleben nach vom Pflegepersonal initiiert Defibrillation bei Patienten mit einem schockbaren Rhythmus, obwohl der AED durch das Pflegepersonal nur bei 52,3 % der Patienten zum Einsatz kam. Angesichts der höheren Überlebenschance bei schockbarem Rhythmus sollen Maßnahmen ergriffen werden, um Verzögerungen bei der Defibrillation in Dialyseeinrichtungen zu vermeiden.

Gefäßzugang

Verwenden Sie den Dialysezugang in lebensbedrohlichen Situationen und bei Kreislaufstillstand.

Potenziell reversible Ursachen

Alle potenziell reversiblen Ursachen (4 Hs und HITS) gelten für Dialysepatienten. Elektrolytstörungen und Flüssigkeitsverschiebungen während der Dialyse sind häufige reversible Ursachen. Weitere Informationen zur Behandlung des durch Hyperkaliämie ausgelösten Kreislaufstillstands finden Sie im Abschnitt Hyperkaliämie in diesem Kapitel.

Versorgung nach Wiederbelebung

Abhängig vom Flüssigkeitsstatus und den Laborwerten kann eine Dialyse in der frühen Phase nach der Reanimation erforderlich sein. Der Patient soll in einen Bereich mit Dialysemöglichkeit (Intensivstation oder Dialyseeinheit) weiterverlegt werden.

Zahnheilkunde

Medizinische Notfälle in einer Zahnarztpraxis umfassen eine Vielzahl von Situationen, ausgehend von durch Angst und Furcht hervorgerufenen psychosomatischen Störungen bis hin zu lebensbedrohlichen Situationen. Die häufigsten medizinischen Notfälle sind vasovagale (Prä-)Synkope, orthostatische Hypotonie, hypertensive Krise, Hyperventilation, Krampfanfälle, mittelschwere allergische Reaktionen, Hypoglykämie und Angina pectoris [469, 470]. Lebensbedrohliche Notfälle entstehen häufig als Folge eines Myokardinfarkts, Krampf- oder Asthmaanfalls. Ein Kreislaufstillstand in einer Zahnarztpraxis ist ein seltenes Ereignis mit einer Inzidenz von 0,002 bis 0,011 Fällen pro Zahnarzt und Jahr [470, 471].

Am 27. März 2020 wurde eine PubMed-Scoping-Überprüfung unter Verwendung der Schlüsselwörter „Zahnmedizin“ ODER „Zahnchirurgie“ UND „Kreislaufstillstand oder Kreislaufstillstand“ ODER „Wiederbelebung oder kardiopulmonale Wiederbelebung“ durchgeführt, die die vergangenen fünf Jahre überblickt ($n = 271$). Zu diesem Thema wurden weder RCT noch systematische Reviews identifiziert. Daher basieren die Empfehlungen auf den Erkenntnissen, die bereits in den ERC-Leitlinien

2015 enthalten sind. Die Empfehlung zur Änderung der Thoraxkompressionen basiert auf einigen Fallberichten, in denen die Wirksamkeit der Thoraxkompressionen bei einem Patienten beschrieben wurde, der während der Reanimation auf einem Zahnarztstuhl belassen wurde [472, 473]. Simulationsstudien, in denen die Wirksamkeit der CPR auf einem Zahnarztstuhl mit CPR auf dem Boden verglichen wurde, zeigten entweder eine niedrigere oder eine gleichwertige CPR-Qualität [474–477]. Eine kürzlich durchgeführte Simulationsstudie bestätigte die Wirksamkeit eines Stuhls als Stabilisator bei verschiedenen Arten von Zahnarztstühlen und bestätigte die Machbarkeit der ERC-Leitlinien 2015. Der Resuscitation Council UK hat im Mai 2020 im Rahmen der Qualitätsstandards für die zahnärztliche Grundversorgung einen Expertenkonsens erzielt (<https://www.resus.org.uk/library/quality-standards-cpr/quality-standards-acute-care>).

Ursachen des Kreislaufstillstands. Ursachen für einen Kreislaufstillstand resultieren in der Regel aus bereits bestehenden Vorerkrankungen, Komplikationen des Verfahrens oder allergischen Reaktionen.

Atemwege und Atmung

Zahnärztliche Eingriffe können zu einer Verlegung der Atemwege aufgrund der primären Pathologie oder aufgrund von Komplikationen des Eingriffs führen (z. B. Blutungen, Sekrete, Schwellung des Gewebes). Asphyxien sind mit einer berichteten Inzidenz von 0,07–0,09 Fällen pro Zahnarzt und Jahr selten [470, 471]. Das Hinzufügen von Sedativa ist in diesen Fällen ein ergänzendes Risiko, obwohl Zahnbehandlungen sowohl unter örtlicher Betäubung als auch unter Sedierung eine hervorragende Sicherheitsbilanz aufweisen [478, 479].

Kreislauf

Obwohl eine lebensbedrohliche Anaphylaxie selten ist, ist sie eine dokumentierte Todesursache bei zahnärztlichen Eingriffen. Neben einer Chlorhexidin-Mundspülung können sowohl Lokalanästhetika als auch Latex häufige Auslöser sein. Eine echte Anaphylaxie tritt nur in 0,004–0,013 Fällen pro Zahnarzt und Jahr auf, während Koronarsymptome (Angina

oder Myokardinfarkt) häufiger gemeldet werden: 0,15–0,18 Fälle pro Jahr [470, 471].

Behandlung eines Kreislaufstillstands.

Der Mund des Patienten soll überprüft und alle festen Materialien aus der Mundhöhle (z. B. Retraktor, Saugrohr, Tampons usw.) entfernt werden. Die Verhinderung einer Fremdkörperatemwegsobstruktion soll vor der Positionierung erfolgen.

Der Zahnarztstuhl soll in eine vollständig horizontale Position gebracht werden. Ein Hocker kann unter der Rückenlehne für zusätzliche Stabilität sorgen [472, 475, 480]. Wenn ein verringerter venöser Rückfluss oder eine Vasodilatation zur Bewusstlosigkeit geführt hat (z. B. vasovagale Synkope, orthostatische Hypotonie), kann so gegebenenfalls ein ausreichendes Herzzeitvolumen wiederhergestellt werden, ohne dass eine CPR erforderlich ist.

Wenn die Atmung nach dem Öffnen der Atemwege nicht normal ist, gehen Sie von einem Kreislaufstillstand aus, bis das Gegenteil bewiesen ist. Thoraxkompressionen sollen sofort gestartet werden, wenn der Patient flach auf dem Stuhl liegt. Es soll in Betracht gezogen werden, den Patienten auf den Boden zu bewegen, sofern dies mithilfe von ausreichend Personal (Verhütung von Verletzungen) möglich ist, der Platz dies zulässt und die Reanimation dadurch nicht verzögert wird [472, 473]. Wenn der Zugang zu beiden Seiten der Brust eingeschränkt ist, soll eine Reanimation über Kopf in Betracht gezogen werden [481, 482].

Ausrüstung und Ausbildung. Spezifisches Equipment zur Durchführung einer Reanimation, einschließlich Absaugung, oropharyngealer Atemwegshilfen, selbstaufblasende Beatmungsbeutel mit Gesichtsmasken, Sauerstoff und Notfallmedikamente, sollen unmittelbar verfügbar sein. Diese Ausrüstungsliste soll auf nationaler Ebene standardisiert sein (<https://www.resus.org.uk/library/quality-standards-cpr/quality-standards-acute-care>; [483]). Alle Zahnarztpraxen, die eine klinische Versorgung anbieten, sollen direkten Zugang zu einem AED haben. Alle Mitarbeiter müssen in seiner Verwendung geschult

sein. Der Stellenwert einer frühen Defibrillation soll betont werden, um die Verfügbarkeit von AED in Zahnarztpraxen zu erhöhen. Derzeit ist die Verfügbarkeit eines AED noch unbefriedigend und liegt zwischen 1,7 bis 2,6% in Europa [469, 484] und bis 11% in den USA [485].

Medizinische Fachkräfte, die in einer Zahnarztpraxis arbeiten, sind verpflichtet, im Fall eines Kreislaufstillstands eine kardiopulmonale Reanimation durchzuführen, und es ist sicherzustellen, dass das Personal regelmäßig geschult wird und die Informationen aktuell gehalten werden (<https://www.resus.org.uk/library/quality-standards-cpr/quality-standards-acute-care>). Alle Zahnärzte sollen eine jährliche praktische Ausbildung in der Erkennung und Bewältigung von medizinischen Notfällen einschließlich der Durchführung einer Reanimation absolvieren (<https://www.resus.org.uk/library/quality-standards-cpr/quality-standards-acute-care>; [486]). Es besteht die öffentliche Erwartung, dass Zahnärzte und alle anderen Angestellten in Zahnarztpraxen in der Behandlung von Kreislaufstillständen kompetent sind. Allerdings verfügen nur 0,2–0,3% der Zahnärzte über eine echte Erfahrung mit medizinischen Notfällen [469, 470, 487]. Hinzu kommt, dass die Reanimationsschulungen inhaltlich erheblich zwischen den Ländern variieren [470, 471, 487, 488]. Die Aufrechterhaltung des Wissens und der Kompetenz zur Bewältigung medizinischer Notfälle muss ein wichtiger Bestandteil der Ausbildung der Zahnärzte sein.

Spezielle Situationen

Kreislaufstillstand während eines Flugs

Nach Prognosen, die vor der COVID-Pandemie erstellt wurden, wird die Zahl der Flugreisenden bis zum Jahr 2040 auf 9 Mrd. Menschen ansteigen [489]. Obwohl Flugreisen im Allgemeinen sehr sicher sind, erhöht sich stetig die Wahrscheinlichkeit von Notfällen während einer Flugreise. Bedingt wird dies u. a. durch den demographischen Wandel, die Anzahl der Passagiere mit vorbestehenden medizinischen Erkrankungen,

die Zahl der Passagiere an Bord größerer Flugzeuge sowie die Zahl der Flüge über sehr lange Distanzen [490]. Bei 1 von 14.000 und bzw. 1 von 50.000 Passagieren treten während eines Flugs akute medizinische Probleme bzw. Notfälle auf, wobei Kreislaufstillstände 0,3% aller Fälle ausmachen [491–493].

Frühe Erkennung und sofortiger Hilferuf, umgehende Defibrillation, hochwertige Thoraxkompressionen mit minimalen Unterbrechungen sowie die Behandlung der reversiblen Ursachen sind die wichtigsten Maßnahmen. Insbesondere in der abgelegenen Umgebung eines Flugzeugs erfordert die Behandlung des Kreislaufstillstands gewisse Anpassungen, Modifikationen und Ergänzung, um das bestmögliche Ergebnis für die Patienten zu erreichen.

Die Empfehlungen basieren auf einer Behandlungsrichtlinie der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrtmedizin (DGLRM), einem Scoping-Review sowie einem Expertenkonsens innerhalb der Autorengruppe [494].

Anpassungen der ALS-Maßnahmen. Herzdruckmassage

Die Wiederbelebungsmaßnahmen eines Ersthelfers erhöhen die Überlebensraten erheblich und sollen so schnell wie möglich eingeleitet werden. Wenn ein Kreislaufstillstand erkannt wird, soll das Kabinenpersonal umgehend mit der kardiopulmonalen Reanimation beginnen und sofort professionelle medizinische Hilfe hinzuziehen. Der einfachste und effektivste Weg ist eine Lautsprecherdurchsage an Bord. Im Idealfall werden die Thoraxkompressionen gemäß der Reanimationsleitlinien von mindestens zwei Personen durchgeführt. Optimalerweise soll sich der Helfer zwischen die Sitzreihen knien, um eine effektive Thoraxkompression durchführen zu können. Ein zweiter Helfer kann im Gang sitzen bzw. knien, um die Beatmung durchzuführen oder den AED anzubringen [495]. In Situationen, in denen es nicht möglich ist, eine Reanimation von einer seitlichen Position aus durchzuführen, kann eine Überkopfreanimation (OTH) als geeignete Alternative angesehen werden [482].

Defibrillation

Jedes kommerzielle Passagierflugzeug soll mit einem AED ausgestattet sein. Ein AED und ein Erste-Hilfe-Kasten sollen sofort vom Kabinenpersonal angefordert werden, da die Zeit bis zur ersten Defibrillation einer der wichtigsten Überlebensfaktoren bei einem Kreislaufstillstand ist [495].

Atemwegsmanagement

Abhängig von den Platzverhältnissen im Flugzeug kann die Verwendung einer SGA für das Atemwegsmanagement bei Reanimationen während einer Flugreise anderen Maßnahmen überlegen sein [496]. Die Verwendung einer Kapnometrie kann bei einem Kreislaufstillstand während des Flugs hilfreich sein. Ein (einfaches) qualitatives Kapnometer soll verfügbar sein [496].

Ausstattung. Der Standort der Notfallausrüstung soll deutlich ausgeschildert sein. Auf der Sicherheitshinweiskarte in der Sitztasche sollen kurze Informationen zum Verhalten im Fall eines Kreislaufstillstands an Bord aufgedruckt sein. Ein standardisiertes medizinisches Dokumentationsformular muss verfügbar sein. Die Infrastruktur vor Ort sowie der schnelle Zugang zu Notfallausrüstung können die Zeit bis zur Einleitung angemessener Therapieversuche erheblich verkürzen und die Zeit ohne Perfusion des Herzens reduzieren („no flow time“). Da alle Passagiere und Besatzungsmitglieder an Bord potenzielle Helfer sind, sollen alle wissen, an wen sie sich im Fall eines Kreislaufstillstands wenden können. Neben einigen allgemeinen Informationen in der Sicherheitshinweiskarte in der Sitztasche soll der Standort der Notfallausrüstung in der Sicherheitseinweisung vor dem Flug erwähnt werden [497]. Das Kabinenpersonal muss in Wiederbelebungsmaßnahmen inklusive AED-Defibrillation geschult sein und soll darin alle 6 Monate neu trainiert werden [496].

Routenänderung während des Flugs und Postreanimationsbehandlung. Eine notfallmäßige Änderung der Flugroute kann notwendig sein, wenn das Flugzeug vor Eintreten eines ROSC Landesgrenzen verlassen würde oder die

Reanimation über offenem Gewässer fortgesetzt werden müsste. Außerdem kann bei direkter Nähe zu einem Flughafen eine frühzeitige Routenänderung vorteilhaft sein. Es gibt jedoch Gründe auf eine Routenänderung zu verzichten, solange noch kein ROSC erreicht wurde. Bei einem Patienten, bei dem sich ein nichtdefibrillierbarer EKG-Rhythmus zeigt, deuten die verfügbaren Daten darauf hin, dass die für die Routenänderung erforderliche Zeit möglicherweise vergeblich ist. Eine Änderung der Flugroute birgt darüber hinaus zusätzliche Risiken: Eine Notlandung, die mögliche Notwendigkeit Treibstoff abzulassen, die Landung mit einem zu schweren Flugzeug, geänderte Flugmuster, die Landung bei schlechtem Wetter, hohe Kosten und die Landung unter ungewohnten Bedingungen erhöhen das Betriebsrisiko. Wenn eine Person während des Flugs verstirbt oder die Wiederbelebung eingestellt wurde, wird eine Änderung der Flugroute nicht empfohlen [496, 498]. Wenn telemedizinische Unterstützung verfügbar ist, soll diese genutzt werden, um Therapieempfehlungen zu erfragen und den weiteren Verlauf zu besprechen.

Rettungshubschrauber (RTH) und Flugambulanzen

Flugambulanzen betreiben entweder Hubschrauber oder Flugzeuge, die routinemäßig kritisch kranke oder verletzte Patienten direkt zu Spezialzentren transportieren. Sie führen darüber hinaus Sekundärverlegungen zwischen Krankenhäusern durch. Ein Kreislaufstillstand kann während des Flugs sowohl bei Patienten auftreten, die von einer Unfallstelle abtransportiert werden (Primäreinsatz), als auch bei schwerkranken Patienten, die zwischen verschiedenen Krankenhäusern verlegt werden (Sekundäreinsatz; [499, 500]). Der Umfang, der an Bord verfügbaren Behandlung variiert und hängt von medizinischen, technischen und persönlichen Faktoren ab, z. B. den Kompetenzen und der Zusammensetzung der Besatzung, der Kabinengröße und der Ausrüstung. Idealerweise sollen alle Maßnahmen vor dem Flug durchgeführt werden, um zu vermeiden, dass ungeplante Behandlungen

während des Flugs notwendig werden [495].

Dieser Abschnitt basiert auf einer Evidenzaktualisierung zum Kreislaufstillstand in Rettungshubschraubern und Luftambulanzen, die in neuesten (randomisierten) klinischen Studien oder systematischen Überprüfungen erstellt wurde und sich auf Scoping-Reviews konzentriert, die sich mit folgenden Fragen befassen:

- Allgemeine Empfehlungen für Kreislaufstillstände in Rettungshubschraubern und Luftambulanzen (30 Titel gescreent, 28 Zusammenfassungen gescreent, 7 Veröffentlichungen ausgewählt).
- Methode der Thoraxkompressionen bei Kreislaufstillstand in Rettungshubschraubern und Luftambulanzen (28 Titel gescreent, 17 Zusammenfassungen gescreent, 4 Veröffentlichungen ausgewählt).
- Atemwegsmanagement bei Kreislaufstillständen in Rettungshubschraubern und Luftambulanzen (28 Titel gescreent, 20 Zusammenfassungen gescreent, 7 Veröffentlichungen ausgewählt).

Begutachtung vor dem Flug. Stellen Sie bei der Vorbereitung des Transports eines schwerkranken oder verletzten Patienten sicher, dass alle erforderlichen Geräte funktionsfähig und leicht zugänglich sowie alle erforderlichen Medikamente und technischen Geräte während des Flugs, innerhalb einer Armlänge erreichbar sind. Es soll ein standardisiertes Dokumentationsformular zur Verfügung stehen, um den medizinischen Zustand des Patienten vor dem Flug überprüfen zu können [496]. Berücksichtigen Sie die Flugtauglichkeit des Patienten. Langstreckenflüge mit einer Flugdauer von 12 bis 14h können bei gefährdeten Passagieren eine stärkere Beeinträchtigung verursachen. Die Flughöhen von Rettungshubschraubern oder Flugzeugen können zwischen 100 und 13.000 m (300–41.000 ft) über dem Meeresspiegel variieren. Der Passagierkabinendruck entspricht maximal einer Flughöhe von etwa 2500 m (8000 ft; [501]). Der arterielle Sauerstoffpartialdruck (PaO₂) kann von 95 mm Hg auf bis zu 60 mm Hg in

der niedrigsten Stufe des Kabinendrucks abfallen [502].

Aufgrund des hohen Stresslevels (Lärm, Bewegung usw.) und der veränderten Umgebung wird der aktuelle Gesundheitszustand des Patienten wie folgt bewertet:

- Kürzlich durchgeführte Operation einer großen Körperhöhle
- Kürzlich aufgetretener oder aktueller Pneumothorax
- Schlaganfall
- Akute psychotische Geisteskrankheit
- Neugeborene oder zu früh geborene Säuglinge
- Akuter Myokardinfarkt oder instabile Angina pectoris
- Kürzlich durchgeführte kardiologische Operation

Diagnose. Normalerweise werden Patienten, die mit Rettungshubschraubern oder einem Flugzeug transportiert werden, engmaschig überwacht, sodass eine Asystolie oder schockbare Rhythmen (VF/pVT) sofort identifiziert werden können. Durch den großen Geräuschpegel und der Flughelme können jedoch die akustischen Alarme gegebenenfalls überhört werden. Das Erkennen einer PEA kann daher eine Herausforderung darstellen, insbesondere bei Patienten unter Sedierung oder Vollnarkose. Bewusstlosigkeit, Änderungen des EKG oder der Verlust des Pulsoxymetersignals sollen eine Atmungs-/Puls- und Patientenkontrolle auslösen. Ein plötzlicher Abfall des EtCO₂ bei beatmeten Patienten sowie das Fehlen einer wellenförmigen Ableitung bei spontanatmenden Personen mit EtCO₂-Überwachung sind herausragende Indikatoren für einen Kreislaufstillstand.

Anpassungen der ALS-Maßnahmen.

Sobald ein Kreislaufstillstand erkannt wurde, soll die Kommunikation des Patientenzustands innerhalb des medizinischen Teams und des Flugteams umgehend erfolgen. In Situationen, in denen es nicht möglich ist, eine Standardreanimation gemäß den Wiederbelebungsempfehlungen durchzuführen, kann eine Überkopfwiederbelebung als geeignete Alternative in Betracht gezogen werden [482]. Abhängig von der Ka-

binengröße sind Thoraxkompressionen in einem Hubschrauber möglicherweise nicht durchführbar. Erwägen Sie bereits vor Flugantritt ein mechanisches CPR-Gerät am Patienten anzubringen, falls die Gefahr eines Kreislaufstillstands besteht [503].

Im Fall eines Kreislaufstillstands während des Flugs soll eine sofortige Landung in Betracht gezogen werden, um eine qualitativ hochwertige Wiederbelebung einleiten zu können. Die Verwendung einer SGA soll dann in Betracht gezogen werden, wenn der Patient zuvor nicht beatmet wurde [496, 504, 505]. Erwägen Sie für VT/VF während des Flugs drei eskalierende Defibrillationen [506].

Kreuzfahrtschiff

Der Reanimationserfolg nach einem Kreislaufstillstand auf Kreuzfahrtschiffen ist im Vergleich zur Situation der Gesamtbevölkerung schlechter, da der Zugang zu medizinischen Einrichtungen komplizierter ist und sich die Zeit einer Verlegung ins Krankenhaus verlängern kann. Darüber hinaus sind einige Umgebungen in Übersee rauer als städtische Überseegebiete (z. B. kalt, windig, nass, Eis und Schnee; [507]). Abgelegene und isolierte Umgebungen (z. B. Polarregionen) bieten keine Möglichkeit, schnell zum nächsten Hafen zurückzukehren. Daher wird die autonome Behandlung eines Patienten mit Kreislaufstillstand erforderlich sein [508].

Dieser Abschnitt basiert auf einer Evidenzaktualisierung zum Kreislaufstillstand auf Kreuzfahrtschiffen, die in jüngsten (randomisierten) klinischen Studien oder systematischen Überprüfungen erstellt wurde und sich auf Scoping-Überprüfungen konzentrieren, die sich mit folgenden Fragen befassen:

- Allgemeine Empfehlungen für die Behandlung von Kreislaufstillständen auf Kreuzfahrtschiffen (16 Titel gescreent, 8 Zusammenfassungen gescreent, 6 Veröffentlichungen ausgewählt).
- Empfehlungen für die Nachsorge von Kreislaufstillständen auf Kreuzfahrtschiffen (5 Titel gescreent, 5 Zusammenfassungen gescreent, 2 Veröffentlichungen ausgewählt).

Kreislaufstillstand auf einem Kreuzfahrtschiff. Wenn auf einem Kreuzfahrtschiff ein Kreislaufstillstand erkannt wird, sollen sofort alle medizinischen Ressourcen eingesetzt werden. Ein medizinisches Notfallteam soll rund um die Uhr 24/7 verfügbar sein. Alle für ALS erforderlichen Hilfsmittel und Geräte sollen an Bord verfügbar und leicht zugänglich sein. Ein AED soll an Bord sein und sofort angefordert werden, da die Zeit bis zur ersten Defibrillation einer der wichtigsten Faktoren für das Überleben eines Kreislaufstillstands ist [509]. Bei einer zu geringen Anzahl von Angehörigen der Gesundheitsberufe innerhalb der Besatzung soll eine Lautsprecherdurchsage an Bord erfolgen, um weitere medizinische Hilfe hinzuzuziehen [510]. Abhängig von den verfügbaren Ressourcen soll die Telemedizin so früh wie möglich eingesetzt werden [511]. Ein qualifizierter medizinischer Lufttransport ist eine Option, um lange Strecken zu medizinischen Einrichtungen zu überwinden.

Kreislaufstillstand während des Sports

Die Inzidenz des plötzlichen Herztods (SCD) im Zusammenhang mit Sport oder körperlicher Betätigung beträgt in der Allgemeinbevölkerung 0,46 pro 100.000 Personenjahre [512]. Es gibt eine große Bandbreite in der Inzidenz des plötzlichen Herztods bei Personen unter 35 Jahren (1,0–6,4 Fälle pro 100.000 Teilnehmerjahre; [513]). Abhängig von den Studienparametern ist die Inzidenz für Herzrhythmusstörungen bei den Personen signifikant erhöht, die kürzlich Sport getrieben haben oder sich gerade aktiv betätigen [514]. In einer kürzlich durchgeführten Studie mit 18,5 Mio. Personenjahren betrug die Inzidenz von SCA mit sportbedingtem Kreislaufstillstand 0,76 Fälle pro 100.000 Athletenjahre [515]. Dieselben Autoren berichteten über die höchste Inzidenz bei Läufern und Fußballspielern, bei Athleten im Wettkampf sowie für Lauf- und Fitnessübungen außerhalb des Wettkampfs. Es existieren viele Berichte für ein erhöhtes Risiko bei anstrengenden Sportarten, wie Schlägersportarten [516], Skifahren [517], Marathon [518], Triathlon

[519] und hochintensiven Sportarten, wie Basketball [520].

Es ist wichtig zu berücksichtigen, dass das absolute Risiko, während körperlicher Betätigung einen kardiologischen Notfall oder gar einen plötzlichen Herztod zu erleiden, äußerst gering ist [521]. Es wird geschätzt, dass das absolute Risiko eines männlichen Athleten, während intensiver Trainingseinheiten einen plötzlichen Herztod zu erleiden, bei 1 zu 1,51 Mio. liegt [522]. In bevölkerungsbezogenen Studien wird die Inzidenz des plötzlichen Herztods in Frankreich mit 0,46 pro 100.000 Personenjahre angegeben [523] und 0,31 pro 100.000 Personenjahre in Japan [524]. In einer niederländischen Studie mit einer beschriebenen Inzidenz von 2,1 pro 100.000 Personenjahre war das Überleben nach Sport- bzw. bewegungsbedingten Vorfällen höher, als nach nicht sportbedingten Zwischenfällen (42,1 % gegenüber 17,2 %; [525]). In den USA wurde geschätzt, dass in jüngeren Altersgruppen ein etwa 4,5-fach höheres Risiko für plötzlichen Kreislaufstillstand (SCA) oder plötzlichen Herztod bei konkurrierenden Athleten – im Vergleich zu Freizeitsportlern ähnlichen Alters besteht [512].

Die Empfehlungen in diesem Abschnitt basieren auf einer Literaturübersicht für eine Evidenzaktualisierung, einschließlich einer kürzlich veröffentlichten wissenschaftlichen Stellungnahme der AHA [521], sowie einer Recherche zu bestimmten Themen und Expertenmeinungen von Sportmedizinern und prähospitalen Notfallmedizinern.

Management. SCA während des Sports oder Bewegung erfordert eine schnelle Erkennung und wirksame Behandlung, wenn der Betroffene überleben soll. Berichte über ein verbessertes Überleben bei Fällen mit plötzlichen Kreislaufstillständen werden mehrheitlich darauf zurückgeführt, dass es sich um beobachtete Ereignisse handelte, eine sofortige Wiederbelebung stattgefunden hat sowie AED unmittelbar verfügbar waren. In solchen Fällen kommt es zu einer Verbesserung der Überlebensraten von 8,0 % in der Allgemeinbevölkerung auf 22,8 % bei sportbezogenen Ereignissen [512] und sogar 71 % in US-Hochschulen [526]. Es

Tab. 8 Prävention des Kreislaufstillstands beim Ertrinken

Thema	Vorhandene Evidenz	Wichtigste Ergebnisse
Sauerstoffgabe	Es wurden keine Studien identifiziert, die sich direkt mit dieser Frage befassen. 4 Beobachtungsstudien befassen sich indirekt mit dieser Frage	Unzureichende Evidenz für den präklinischen Einsatz der Sauerstofftherapie nach Ertrinken. Erwägen Sie pragmatisch, den hypoxischen Patienten vor der Ankunft im Krankenhaus mit Sauerstoff und hohem Durchfluss zu behandeln, wenn eine direkte Messung der arteriellen Sauerstoffversorgung durchgeführt werden kann, um eine kontrollierte Sauerstofftherapie zu ermöglichen. Weitere Untersuchungen zur Ermittlung des optimalen Wegs einer Krankenhausaufnahme und zur Optimierung der Überwachung vor dem Krankenhausaufenthalt sind erforderlich
Atemwegsmanagement	Es wurden keine Studien identifiziert, die sich direkt mit dieser Frage befassen. Indirekte Evidenz aus 15 Beobachtungsstudien	Die überprüften Studien zeigen, dass die Intubation eine praktikable Intervention nach einem Tauchunfall ist. Der Zusammenhang zwischen Intubation und schlechten Behandlungsergebnissen wird mit ziemlicher Sicherheit durch die Notwendigkeit einer Intubation beeinträchtigt, die auf ein schwereres Ertrinken beschränkt ist. In Ermangelung von Daten, die eine alternative Strategie unterstützen, ist die Annahme der Empfehlungen der ALS Task Force für das Atemwegsmanagement angemessen [2]
Beatmungsstrategien	4 Beobachtungsstudien	NIV scheint als Behandlung für mittelschweres bis schweres Lungenversagen durch Ertrinken machbar zu sein. Die veröffentlichten Erfahrungen betreffen hauptsächlich Patienten mit höherem GCS-Punktwert, die hämodynamisch stabil sind. Die Patienten scheinen innerhalb von 12 bis 24 h zu reagieren. Die Indikationen für den optimalen Zeitpunkt für den Übergang zur invasiven Beatmung, wenn die NIV nicht erfolgreich ist, erfordern weitere Untersuchungen. Da keine direkten Beweise für eine bestimmte invasive Beatmungsstrategie beim Ertrinken vorliegen, befürwortet die Autorengruppe die Annahme evidenzbasierter Strategien zur Behandlung des akuten Atemnotsyndroms [537]
ECMO	13 Beobachtungsstudien	Die für ein schweres Atemversagen festgestellten Hinweise stimmen mit den Leitlinien überein, die die Verwendung von ECMO bei ausgewählten Patienten mit schwerem ARDS nahelegen (schwache Empfehlung, sehr geringe Evidenzsicherheit; [537])

wurde berichtet, dass bei Marathonläufen 50 % der Kreislaufstillstände während der letzten Meile auftraten. Die beste Überlebenswahrscheinlichkeit lässt sich hier durch frühe Wiederbelebensmaßnahmen und die Verwendung eines AED erreichen [521].

Es gibt starke Belege für die Planung, Einhaltung und Einführung von standardisierten Wiederbelebensverfahren bei Sportveranstaltungen, die grundlegende BLS-Maßnahmen inklusive Verwendung eines AED umfassen sollen.

Vorbeugung. In der Vergangenheit war das Herz-Screening die empfohlene Strategie zur Prävention von Herzereignissen im Sport. Es bestehen jedoch weiterhin Unterschiede zwischen der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie, welche die Verwendung eines 12-Kanal-EKG als Screening-Tool für alle jungen Sportler [527] empfiehlt, und der AHA/American College of Cardiology, die nicht genügend Beweise fanden, um dieses Screening-Tool zu unterstützen [528]. Derzeit empfehlen das Internationale Olympische Komitee und viele internationale Sportverbände ein Herz-Screening für Sportler [529].

Ältere Sportler bzw. Trainierende sollen regelmäßig durch eine medizi-

nische Untersuchung ihre bekannten Herz-Kreislauf-, Stoffwechsel- oder Nierenerkrankungen, das Vorhandensein von Anzeichen oder Symptomen, welche auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen hinweisen, sowie die gewünschte oder erwartete Trainingsintensität beurteilen lassen [530].

Commotio cordis. Während die meisten kardiologischen Notfälle im Sport nicht mit Körperkontakt oder Trauma verbunden sind, ist Commotio cordis hiervon die Ausnahme. Commotio cordis, die Störung des Herzrhythmus durch einen Schlag auf den Brustkorb, hat eine angegebene Inzidenz von 3 % [531]. Das auf den Brustkorb auftreffende Objekt muss dabei innerhalb eines 20-Millisekunden-Fensters nach der Aufwärtsbewegung der T-Welle den Bereich vor dem Herzen treffen [532]. Die Gesamtüberlebensrate einer Commotio cordis soll sich in den vergangenen Jahren auf bis zu 58 % verbessert haben [533]. Dies wurde auf die schnelle Erkennung des Kollapses sowie die frühen lebensrettenden Maßnahmen und die Verfügbarkeit von AED zurückgeführt, was zu einer sofortigen Defibrillation führte.

Ertrinken

Ertrinken ist die dritthäufigste Todesursache in der Kategorie der durch unbeabsichtigte Verletzungen ausgelösten Todesfälle weltweit und umfasst jährlich über 360.000 Todesfälle (<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drowning>). Die Versorgung eines Ertrinkungsopfers in ressourcenstarken Ländern erfordert oft einen behördenübergreifenden Ansatz, bei dem mehrere Organisationen unabhängig voneinander für verschiedene Phasen der Versorgung des Patienten verantwortlich sind. Beginnend mit der anfänglichen Wasserrettung, über die Wiederbelebung vor Ort und die Verlegung ins Krankenhaus bis hin zur stationären und rehabilitativen Versorgung. Der Versuch, einen untergetauchten Patienten zu retten, hat erhebliche Auswirkungen auf die Ressourcen und kann letztlich die Retter selbst gefährden. Die wichtigste Folge des Ertrinkens ist eine Hypoxie, die durch eine Beeinträchtigung der Atmung infolge der Aspiration von Flüssigkeit in die Lunge verursacht wird. Wenn dies schwerwiegend ist oder länger dauert, kann dies zu einem Kreislaufstillstand führen. Ein frühzeitiges wirksames Eingreifen ist entscheidend, um das Über-

Tab. 9 Management des Kreislaufstillstands beim Ertrinken

Thema	Vorhandene Evidenz	Wichtigste Ergebnisse
Wiederbelebung im Wasser	1 Beobachtungsstudie und 4 Manikinstudien	Eine Wiederbelebung im Wasser durch hochqualifizierte Rettungsteams mit Wasserrettungsausrüstung ist möglich. Wenn geschulte und fähige Rettungsteams verfügbar sind, leiten Sie eine Reanimation im Wasser für den bewusstlosen und nicht atmenden Patienten ein, indem Sie bis zu 1 min Beatmungen (~ 10 Beatmungen) durchführen, bevor Sie versuchen, an Land zu gehen. Wenn die Atmung nicht wiederhergestellt ist, soll der Patient ohne weitere Beatmungsversuche während der Wasserrettung an Land/Boot geschleppt werden. Außerhalb des Umfelds eines hochqualifizierten Rettungsteams, das mit der Reanimation im Wasser vertraut ist, muss der Patient vor Beginn der Reanimation direkt an Land/Boot gebracht werden. Ein einzelner Retter, der in der Reanimation im Wasser gut ausgebildet ist, soll den Patienten bei fehlender Rettungsausrüstung auch direkt ans Ufer bringen
CPR auf einem Boot	2 Beobachtungsstudien und 4 Manikinstudien	Eine Wiederbelebung in einem Boot scheint machbar. Diejenigen, die eine Wiederbelebung durchführen, sollen sich auf eine qualitativ hochwertige CPR konzentrieren und auf die Entwicklung von Müdigkeit achten und einen regelmäßigen Wechsel der Helfer in Betracht ziehen
Reanimation durch Bystander	18 Beobachtungsstudien	Bystander-CPR beim Ertrinken ist machbar und scheint effektiv zu sein. Die offensichtliche Überlegenheit der konventionellen CPR, zu der auch die Beatmung gehört, ist biologisch plausibel, da der Zusammenhang zwischen Kreislaufstillstand und Ertrinken hauptsächlich auf Hypoxie zurückzuführen ist. Die Ergebnisse dieser Überprüfung stimmen mit dem ILCOR CoSTR überein, die empfehlen, bei allen Patienten mit Kreislaufstillstand Thoraxkompressionen vorzunehmen. Das ILCOR schlägt vor, dass diejenigen, die geschult, in der Lage und bereit sind, Beatmungen sowie Thoraxkompressionen durchzuführen, dies für alle erwachsenen Patienten mit Kreislaufstillstand tun [3]
AED verwenden	Es wurden keine Studien identifiziert, die sich direkt mit dieser Frage befassen. Indirekte Evidenz aus 15 Beobachtungsstudien	Die Verwendung eines AED beim Kreislaufstillstand aufgrund von Ertrinken erscheint machbar und sicher. Die Wahrscheinlichkeit eines schockbaren Rhythmus ist geringer als bei einer primär kardialen Ursache. Vor diesem Hintergrund soll entsprechend der Autorengruppe die Einleitung von Beatmungen und Thoraxkompressionen priorisiert werden. Dies steht im Einklang mit der ILCOR-Behandlungsempfehlung, die eine kurze CPR-Zeit empfiehlt, während der Defibrillator für die Analyse vorbereitet wird. Dies ist wahrscheinlich besonders wichtig, wenn der Kreislaufstillstand durch Ertrinken verursacht wurde [3]
Atemwegsmanagement	Es wurden keine Studien identifiziert, die sich direkt mit dieser Frage befassen. Indirekte Evidenz aus 15 Beobachtungsstudien	In Ermangelung von Daten, die eine alternative Strategie unterstützen, ist die Annahme der Empfehlungen der ALS Task Force für das Atemwegsmanagement angemessen [2]. Beginnen Sie mit grundlegenden Atemwegstechniken und gehen Sie entsprechend den Fähigkeiten des Retters schrittweise vor, bis eine effektive Beatmung erreicht ist. Wenn eine Atemwegssicherung erforderlich ist, sollen nur Retter die endotracheale Intubation durchführen, die hierin eine hohe Erfolgsrate besitzen
ECPR	13 Beobachtungsstudien	Eine extrakorporale Oxygenierung zur Behandlung eines Kreislaufstillstands oder schweren Lungenversagens durch Ertrinken ist möglich. Die identifizierten Beweise stützen die Empfehlung der ILCOR-Behandlung, wonach die „extrakorporale kardiopulmonale Wiederbelebung (ECPR) als Rettungstherapie für ausgewählte Patienten mit Kreislaufstillstand angesehen werden kann, wenn die konventionelle kardiopulmonale Wiederbelebung in Umgebungen fehlschlägt, in denen dies umgesetzt werden kann (schwache Empfehlung, sehr niedrige Beweissicherheit)“

leben zu verbessern und die Morbidität zu verringern.

Die Empfehlungen in diesem Abschnitt folgen der aktualisierten systematischen ILCOR-Überprüfung 2020 und der ILCOR-Scoping-Überprüfung [3, 14].

Anfängliche Rettung. In der aktualisierten systematischen Überprüfung des ILCOR 2020 wurde der Einfluss wichtiger Prognosefaktoren auf die Wahrscheinlichkeit untersucht, wie Such- und Rettungsaktionen zu günstigen Ergebnissen führen. Die Überprüfung ergab mit mittlerer Verlässlichkeit, dass die Dauer des Untertauchens der stärkste Einflussfaktor auf den Reanimationserfolg ist

und empfahl, dies bei Entscheidungen für das Management von Such- und Rettungsressourcen zu berücksichtigen [14]. Die CoSTR riet davon ab, Alter, Reaktionszeit des Rettungsdienstes, Wassertyp (Süß- oder Salzwasser), Wassertemperatur und Aussagen von Beobachtern bei prognostischen Entscheidungen zu verwenden (sehr geringe Sicherheit). Die Rückmeldungen während der öffentlichen Konsultation zu den Leitlinien zeigten, dass Drohnen möglicherweise eine wichtige Rolle bei der Verkürzung der Tauchdauer oder bei der Bereitstellung von Schwimmhilfen spielen können [534–536].

Prävention von Kreislaufstillständen.

Erkenntnisse aus einer Scoping-Überprüfung ergaben nur eine begrenzte Evidenz aus Beobachtungsstudien und Studien mit Patientensimulatoren, um sie zur Behandlung von Ertrinkenden zu verwenden [3]. Eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse der Überprüfung ist in **Tab. 8** dargestellt. Die ERC-Empfehlungen für die Behandlung Ertrinkender basieren daher auf Expertenmeinung der Autorengruppe, basierend auf Beweisen aus dem Scoping-Review.

Kreislaufstillstand. Ähnlich wie im Abschnitt zur Verhinderung des Kreislaufstillstands wurden bei der Überprüfung

des Anwendungsbereichs nur begrenzte Hinweise zur Information über die Leitlinien für die Praxis ermittelt [3]. Die wichtigsten Ergebnisse sind in **Tab. 9** zusammengefasst. Die ERC-Empfehlungen für die Behandlung des Kreislaufstillstands im Zusammenhang mit Ertrinken basieren daher auf dem Konsens der Experten aus der Autorengruppe unter Berücksichtigung der Evidenz aus der Scoping-Überprüfung. Angesichts der Tatsache, dass die Dauer des Untertauchens und die Dauer des Kreislaufstillstands wichtige prognostische Indikatoren darstellen, wird die Einleitung einer Wiederbelebung, sobald dies sicher und praktisch ist, von der Autorengruppe nachdrücklich unterstützt.

Massenanfälle von Verletzten/ Erkrankten

Massenunfälle (MCI), die durch eine höheren Bedarf an medizinischer Versorgung als an verfügbaren Ressourcen gekennzeichnet sind, sind seltene Ereignisse. Unter den 19,8 Mio. jährlichen EMS-Aktivierungen in den USA hatten nur 0,3% einen MCI-Dispatch-Code, von denen weniger als die Hälfte vor Ort bestätigt wurden [538]. Der MCI kann durch verschiedene chemische, biologische, radiologische oder nukleare (CBRN) Ereignisse verursacht werden, aber auch traumatische Ereignisse (z. B. Verkehrsunfälle, Straftaten, Natur- und Industriekatastrophen) spielen in Industrieländern eine führende Rolle [539]. Kürzlich wurden Schlüsselthemen identifiziert, um die künftige Praxis der prähospitalen Versorgung zu verbessern: Die taktische medizinische Notfallunterstützung kann Interventionen im Bereich des inneren Schadensbereichs harmonisieren, die Notwendigkeit einer dienstübergreifenden Aufklärung über eine wirksame Blutungskontrolle (traumaspezifisch), den Wert erfahrener Personen zur Triage und die Notwendigkeit regelmäßiger Simulationsübungen von Massenunfällen [540].

Am 27. März 2020 wurde eine Überprüfung des PubMed-Scoping durchgeführt unter Verwendung der Schlüsselwörter „Massenanfall“ UND „Kreislaufstillstand oder Kreislaufstillstand“ ODER „Wiederbelebung oder kardiopulmonale

Wiederbelebung“ in den letzten 5 Jahren ($n=47$). Es wurden keine systematischen Übersichtsarbeiten und RCT zu diesem Thema im Zusammenhang mit CPR identifiziert. Es gibt nur wenige RCT, die unterschiedliche Ausbildungs- und Managementstrategien während MCI untersuchen, einschließlich der Verwendung moderner Technologien, z. B. unbemannte Luftfahrzeuge (UAV) oder VR-Brillen, die eine telemedizinische Verbindung mit der Schadenszone herstellen [541]. Die verfügbaren Ressourcen lieferten im Vergleich zu den ERC-Leitlinien 2015 keine Hinweise auf eine Änderung der Wiederbelebungspraxis [83].

Änderungen der CPR bei Pandemien hochansteckender Infektionskrankheiten wurden in den separat veröffentlichten ERC COVID-19-Leitlinien (April 2020) behandelt [542]. Obwohl Pandemien die MCI-Definition per se nicht erfüllten, waren einige Gesundheitssysteme mit Personal- und Ausrüstungsmängeln konfrontiert, die die Kapazität der Intensivpflege einschränkten. Entscheidungen über die Zuweisung von Ressourcen, einschließlich der Durchführung von Reanimationen während Pandemien, mussten lokal auf der Ebene der einzelnen Gesundheitssysteme getroffen werden. In den COVID-19-Leitlinien wurde jedoch die Bedeutung allgemein geltender Sicherheitsvorkehrungen hervorgehoben.

Sicherheit. Mögliche Gefahren sollen identifiziert und es soll sofort um Unterstützung gebeten werden. Das Vorhandensein mehrerer Betroffener soll die Retter immer bezüglich der Möglichkeit eines CBRN-Vorfalles sensibilisieren. Nähern Sie sich niemals den Betroffenen, es sei denn, der Bereich ist sicher. An Tatorten (z. B. Schießereien, Bombenanschläge) oder an Orten, die durch schädliche Substanzen (z. B. Kohlenmonoxid, industrielle Zyanide oder andere Chemikalien) verunreinigt sind, bestehen hohe Risiken.

Abhängig von den spezifischen Risiken vor Ort soll eine angemessene persönliche Schutzausrüstung (PPE; z. B. kugelsichere Weste, Atemschutzmaske, langärmeliges Kleid, Augen- und Ge-

sichtsschutz) verwendet werden. Helfer müssen PPE anziehen, bevor sie sich den Betroffenen nähern, auch wenn zeitkritische Maßnahmen erforderlich sind. Es wird anerkannt, dass dies zu einer Verzögerung der Behandlung führen kann [542]. Das Tragen einer PPE kann auch die Leistung von Interventionen beeinträchtigen und die Behandlungsstandards einschränken. Simulationsstudien haben eine verringerte Erfolgsrate fortgeschrittener Atemwegstechniken, eine längere Zeit für die Sicherung des i. v. und intraossären Zugangs und Schwierigkeiten bei der Arzneimittelzubereitung gezeigt [543–545].

Sekundärrisiken für Patienten und Helfer sollen vermieden werden. Während der Sarin-Angriffe in Japan entwickelten 10% der 1363 EMS-Helfer eine Vergiftung, hauptsächlich durch Patienten in schlecht belüfteten Rettungsfahrzeugen [546].

Triage. Die anfängliche Triage ermöglicht die Identifizierung der Prioritäten der Patientenversorgung. Im Gegensatz zu normalen Umständen wird beim Massenanfall normalerweise keine Reanimation eingeleitet, um eine Verzögerung einer potenziell wirksamen Behandlung für rettbar Patienten zu vermeiden. Diese kritische Entscheidung hängt von den verfügbaren Ressourcen in Bezug auf die Anzahl der Betroffenen ab.

Lokal etablierte Triage-Systeme zur Priorisierung der Behandlung sollen verwendet werden [547–549]. Es gibt nicht genügend Hinweise, um eines der Triageprotokolle in allen Aspekten den anderen überlegen zu erklären [550]. ALS-Teams vor dem Krankenhaus, die an der anfänglichen Szenentriage beteiligt sind, müssen eine Übertriage vermeiden. Bei der Aufnahme in ein Krankenhaus ist eine wiederholte Triage (erneute Triage) erforderlich und das verantwortliche Personal in allen Phasen der Notfallversorgung muss mit dem verwendeten Triage-System vertraut sein.

Lebensrettende Maßnahmen sollen bei Patienten durchgeführt werden, die als sofort (höchste Priorität) eingestuft wurden, um einen Kreislaufstillstand zu verhindern [548]:

- Atemweg freihalten mit grundlegenden Techniken
- Blutungen kontrollieren
- Thorax dekomprimieren zur Verhinderung eines Spannungspneumothorax
- Verabreichen Sie Antidote mittels Autoinjektoren
- Erwägen Sie erste Beatmungen bei einem nicht atmenden Kind

Die Zuweisung einer höheren Triagestufe für ältere Menschen und für Überlebende eines Hochenergietraumas soll in Betracht gezogen werden, um die Anzahl vermeidbarer Todesfälle zu verringern. In der National Trauma Database (NTDB) wurden Patienten in allen Triagestufen mit den Mortalitätsergebnissen verglichen. Es wurden 322.162 Probanden der grünen Triagekategorie zugeordnet, von denen 2046 vor der Entlassung aus dem Krankenhaus starben. Das Alter war der primäre Prädiktor für eine Untertriage [547].

Bei Kindern sollen spezielle Triagebänder oder ein pädiatrisches MCI-Triage-System (z. B. JumpSTART) verwendet werden [551]. Wenn dies nicht verfügbar ist, kann jedes Triage-System für Erwachsene verwendet werden.

Die Entscheidung, ein MCI-Triage-System zu verwenden, und der Verzicht der Behandlung von Personen mit unmittelbar bevorstehendem Tod (einschließlich Betroffenen ohne Lebenszeichen) liegen in der Verantwortung eines medizinischen Leiters, der normalerweise der erfahrenste EMS-Kliniker vor Ort ist. Die Zuweisung einzelner Rollen hängt üblicherweise von lokalen Protokollen ab. Moderne Technologien (z. B. UAV oder VR-Brillen) ermöglichen eine Echtzeit-videoübertragung vom Triageort zu den entfernten Einsatzleitern oder Mitarbeitern in aufnehmenden Krankenhäusern [552]. Triageungenauigkeiten können bei Patienten mit überlebenden Verletzungen fatale Folgen haben. Das Gesundheitspersonal muss regelmäßig darin geschult werden, die Triageprotokolle während Simulationen und Live-Übungen zu verwenden [553]. Lernvideospiele verbessern das Lernen und die nachfolgende Leistung im Vergleich zu herkömmlichen Lernmethoden [554]. Schu-

lungen ermöglichen eine schnelle und korrekte Erkennung derjenigen, die lebensrettende Verfahren anfordern, und verringern das Risiko einer unangemessenen Behandlung vergeblicher Fälle.

Spezielle Patienten

Asthma und COPD

Evidenzbasierte Empfehlungen für die Behandlung von akutem lebensbedrohlichem Asthma werden von der British Thoracic Society, dem Scottish Intercollegiate Guidelines Network (■ Abb. 13; <https://www.sign.ac.uk/sign-158-british-guideline-on-the-management-of-asthma.html>) und für chronisch obstruktive Lungenerkrankungen von der Globalen Initiative für chronisch obstruktive Lungenerkrankungen (GOLD) (<https://goldcopd.org/>) zur Verfügung gestellt. Die Leitlinien wurden gemäß dem AGREE-II-Rahmen bewertet und als qualitativ hochwertig eingestuft. Daher wird empfohlen, diese Leitlinie in der Praxis anzuwenden.

Die BTS/SIGN- und GOLD-Leitlinien enthalten keine spezifischen Informationen zur Behandlung eines Kreislaufstillstands. Unsere Überprüfung ergab keine anderen relevanten Leitlinien von hoher Qualität. Aus diesem Grund haben wir einen überprüfenden Review vorgenommen und unsere Leitlinien auf der Grundlage des Expertenkonsenses innerhalb der Autorengruppe erstellt.

Die Scoping-Überprüfung ergab 352 Publikationen, von denen 19 relevant waren. Es wurden keine RCT identifiziert. Aus diesen Beobachtungsstudien werden daher Hinweise verwendet, ergänzt durch Studien, die in den Leitlinien von 2015 aufgeführt sind. Die Empfehlungen basieren auf dem Expertenkonsens der Autorengruppe.

Prävention eines Kreislaufstillstands.

Ein schrittweiser Ansatz zur initialen Beurteilung und Behandlung auf der Grundlage des ABCDE-Ansatzes wird für Patienten empfohlen, bei denen das Risiko eines Kreislaufstillstands aufgrund einer Verschlechterung der obstruktiven Lungenerkrankung (Asthma/COPD) besteht.

Weitere Schritte zur Behandlung von akutem schwerem Asthma sind in ■ Abb. 13 zusammengefasst.

Für die Behandlung einer COPD empfehlen die GOLD-Leitlinien, dass zusätzlicher Sauerstoff titriert gegeben wird, um eine Zielsättigung von 88–92% zu erreichen, wobei die Blutgase häufig überwacht werden, um eine ausreichende Sauerstoffversorgung ohne Kohlendioxidretention sicherzustellen. Die pharmakologische Therapie umfasst kurzwirksame Beta-2-Agonisten mit oder ohne kurzwirksame Anticholinergika, systemische Kortikosteroide und Antibiotika bei Verdacht auf eine bakterielle Infektion. Nichtinvasive Beatmung (NIV) wird bei Vorliegen einer respiratorischen Azidose empfohlen ($\text{PaCO}_2 < 6 \text{ kPa} / 35 \text{ mm Hg}$ und arterieller $\text{pH} \leq 7,35$), schwerer Dyspnoe mit klinischen Anzeichen von Ermüdung und/oder erhöhter Atemarbeit. Bei einem NIV-Versagen kann eine Eskalation zur invasiven Beatmung erforderlich sein, auch wenn der Patient die NIV nicht toleriert, bei Unruhe oder vermindertem Bewusstsein, Aspirationsrisiko, kardiovaskulärer Instabilität oder lebensbedrohlicher Hypoxie. Achten Sie auf das höhere Risiko lebensbedrohlicher Hypotension nach Notfallintubation und mechanischer Beatmung bei Patienten mit erhöhtem arteriellem CO_2 und obstruktiver Lungenerkrankung [555].

Behandlung eines Kreislaufstillstands aufgrund einer obstruktiven Lungenerkrankung.

Ein Kreislaufstillstand bei Patienten mit obstruktiver Lungenerkrankung kann als Folge von Hypoxie, Hypovolämie, Toxinen (Arrhythmien, die durch Stimulanzien, z. B. beta-adrenerge Agonisten, Aminophyllin, verursacht werden), Elektrolytstörungen, Spannungspneumothorax und/oder den Auswirkungen von Gas-Trapping auftreten, die zu einer Reduktion von venösem Rückfluss und Blutdruck führen [556–560]. Ein Kreislaufstillstand bei obstruktiven Lungenerkrankungen ist normalerweise mit einem nichtschockbaren Rhythmus und daher schlechten Überlebensraten verbunden [561, 562].

Wesentliche Behandlungsansätze.

Atemweg

Sauerstoff: Obwohl keine endgültigen Studien gefunden wurden, die die Rolle von Sauerstoff im Vergleich zu anderen Gasen beim Kreislaufstillstand aufgrund einer obstruktiven Lungenerkrankung untersuchten, betrachtete die Autorengruppe die Hypoxie als Hauptursache eines Kreislaufstillstands mit hoher Priorität und empfahl hochkonzentrierten Sauerstoff bei der assistierten Beatmung.

Erweitertes Atemwegsmanagement: In einer Beobachtungsstudie mit 12 Patienten wurden maximale Atemwegsdrücke bei akutem schwerem Asthma (Mittelwert $67,8 \pm 11$ cm H₂O) genannt, die signifikant höher sind als der normale untere Ösophagusphinkterdruck [563]. Beim Versuch, einen schweren Asthmatiker ohne Trachealtubus zu beatmen, besteht ein erhebliches Risiko für Mageninflation und Hypoventilation der Lunge. Während des Kreislaufstillstands ist dieses Risiko sogar noch höher, da der untere Ösophagusphinkterdruck wesentlich niedriger als normal ist. Die Autorengruppe schlägt daher vor, dass während eines durch Asthma verursachten Kreislaufstillstands so schnell wie möglich endotracheal intubiert wird. In Übereinstimmung mit den ALS-Leitlinien für das Atemwegsmanagement soll die Intubation nur von jemandem durchgeführt werden, der darin geschult und kompetent ist [100].

Atmung

Auf Anzeichen von Spannungspneumothorax prüfen und entsprechend behandeln: Patienten mit obstruktiver Lungenerkrankung können einen Spannungspneumothorax entwickeln, der, wenn er nicht behandelt wird, einen Kreislaufstillstand verursachen kann [564–568]. Prüfen Sie auf Anzeichen eines Spannungspneumothorax und behandeln Sie entsprechend, wobei zu beachten ist, dass die Nadeldekompression allein möglicherweise nicht ausreicht, um einen Spannungspneumothorax suffizient zu behandeln [564, 569].

Diskonnektieren Sie die Überdruckbeatmung, wenn Luft-Trapping und Hyperinflation auftreten, und vermindern Sie den Druck, um die Hyperinflation

manuell zu reduzieren: In einigen Fallberichten wurde über einen ROSC bei Patienten mit Luft-Trapping berichtet, wenn der Endotrachealtubus diskonnektiert wurde [570–576]. Wenn während der Reanimation eine dynamische Hyperinflation der Lunge vermutet wird, kann Thoraxkompression unter Diskonnektion des Endotrachealtubus das Air-Trapping vermindern [575, 577]. Obwohl dieses Verfahren nur durch begrenzte Hinweise gestützt wird, ist es in einer ansonsten aussichtslosen Situation unwahrscheinlich, dass es schädlich ist [577, 578].

Beatmen Sie mit einer Atemfrequenz von 8 bis 10 pro Minute und einem ausreichenden Atemzugvolumen, sodass sich der Brustkorb hebt. Atemfrequenzen von 8 bis 10 Atemzügen pro Minute und ein Atemvolumen, das für eine normale Hebung der Brust während der Reanimation erforderlich ist, sollen die dynamische Hyperinflation der Lunge (Air-Trapping) minimieren [579]. Das Atemvolumen hängt von der Inspirationszeit und dem Inspirationsfluss ab. Die Lungenentleerung hängt von der Expirationszeit und dem Expirationsfluss ab. Bei mechanisch beatmeten schweren Asthmatikern führt eine Verlängerung der Expirationszeit (erreicht durch Verringern der Atemfrequenz) nur zu moderaten Vorteilen hinsichtlich eines verringerten Air-Trappings, wenn ein Atemminutenvolumen von weniger als 10 l/min verwendet wird [563].

Zirkulation

Intravenöse Flüssigkeiten erwägen: Es wurden keine Studien identifiziert, in denen die Verwendung von i.v. Flüssigkeiten bei einem Kreislaufstillstand aufgrund einer obstruktiven Lungenerkrankung bewertet wurde. Die Expertenmeinung aus der Autorengruppe legt nahe, dass i.v. Flüssigkeiten in Betracht gezogen werden sollen, da das Risiko besteht, dass Patienten mit obstruktiver Lungenerkrankung aufgrund einer verringerten oralen Aufnahme und/oder erhöhter unempfindlicher Verluste dehydrieren.

Erwägen Sie die Standarddosis von i.v. Adrenalin: In Übereinstimmung mit dem ILCOR CoSTR für Vasopressoren beim Kreislaufstillstand empfehlen die ALS-

Leitlinien, 1 mg Adrenalin alle 3–5 min während eines Kreislaufstillstands zu verabreichen, basierend auf mäßiger Evidenzqualität [2, 100]. Die Hauptstudie, die diese Empfehlungen enthält, schloss jedoch Patienten mit Asthma aus [580]. Einige kleine Beobachtungsstudien, vorwiegend bei jüngeren Patienten, legen nahe, dass es bei lebensbedrohlichem Asthma ohne nachteilige Folgen verabreicht werden kann [581, 582].

Erwägen Sie ECPR: ECMO wurde erfolgreich bei Patienten mit lebensbedrohlichem Asthma angewendet [583, 584]. In Übereinstimmung mit den ALS-Leitlinien kann eine ECPR in Betracht gezogen werden, wenn herkömmliche Therapien fehlschlagen und das System sofort Zugang zu dieser Behandlung hat [2].

Neurologische Erkrankung

Ein Kreislaufstillstand im Zusammenhang mit einer akuten neurologischen Erkrankung ist relativ selten und kann bei Subarachnoidalblutungen, intrazerebralen Blutungen, epileptischen Anfällen und ischämischen Schlaganfällen auftreten [585]. In einer US-amerikanischen Obduktionsstudie mit 335 plötzlichen Herztoten traten 18 (5,4%) plötzliche neurologische Todesfälle (intrakranielle Blutung, plötzlicher unerwarteter Tod bei Epilepsie, aneurysmatische Subarachnoidalblutung, akuter Schlaganfall, Aspiration im Rahmen der Huntington-Krankheit) auf [586]. Diese Todesfälle machten 14,9% der 121 nichtkardialen Todesfälle in der Studie aus.

Die Hinweise, die diese Leitlinie stützen, basieren auf Beobachtungsdaten und Expertenmeinungen sowie Leitlinien für die Behandlung häufiger neurologischer Erkrankungen, die einen Kreislaufstillstand verursachen können. Eine gezielte Literaturrecherche wurde bis zum 10. August 2020 durchgeführt und identifizierte 9 Beobachtungsstudien und einen Cochrane-Review seit der Leitlinie 2015 [83].

Prodromalzeichen. Bestimmte Merkmale wie ein jüngeres Alter, weibliches Geschlecht, initial nichtschockbarer Rhythmus und neurologische Vorgeschichte (z. B. Kopfschmerzen, Anfälle, neurologische Defizite) deuten auf eine neurologische Ursache für einen

Kreislaufstillstand hin [587]. Andere unspezifische Anzeichen sind Synkope, Atemnot und Brustschmerzen [588].

Frühe Bildgebung des Gehirns. Die Identifizierung einer neurologischen Ursache für einen Kreislaufstillstand nach ROSC ist Teil der ERC-Leitlinie zur Postreanimationsbehandlung [271]. Die Expertenmeinung basiert auf Beobachtungsdaten, die zeigen, dass eine frühzeitige Erkennung einer neurologischen Ursache mittels eines CT-Scans bei Krankenhauseinweisung vor oder nach Koronarangiographie erreicht werden kann. In Abwesenheit von Anzeichen oder Symptomen, die auf eine neurologische Ursache hinweisen (z. B. Kopfschmerzen, Krampfanfälle oder neurologische Defizite) oder wenn klinische oder EKG-Hinweise auf eine Myokardischämie vorliegen, wird zuerst eine Koronarangiographie durchgeführt, gefolgt von einem CT-Scan, wenn keine ursächlichen Läsionen in der Koronarangiographie vorliegen. Eine systematische Überprüfung der diagnostischen Ausbeute der nichtinvasiven Bildgebung bei Patienten nach nicht-traumatischer OHCA ergab 9 Beobachtungsstudien zur zerebralen Bildgebung [589]. Die häufigsten Diagnosen waren Gehirnblutungen (16,9%, einschließlich intraparenchymaler, intrakranieller oder extraaxialer Blutungen) und akuter Schlaganfall (11,8%). Die Indikation für die Scans war nicht ganz klar, sodass die wahre Häufigkeit der Identifizierung neurologischer Ursachen ungewiss ist.

Subarachnoidalblutung. Kreislauf- oder Atemstillstand tritt bei 3–11% der Patienten mit Subarachnoidalblutung (SAH) auf [590]. Bei Patienten mit anhaltendem ROSC bei Krankenhauseinweisung gibt es erhebliche regionale Unterschiede in der Inzidenz von SAH als Ursache für einen Kreislaufstillstand. Veröffentlichte Fallserien berichten über 16,2% in Japan [591], 11,4% in Korea [592] und 7% in Frankreich [593]. In einer japanischen Studie bei Patienten mit ROSC wurde SAH am häufigsten mit einem anfänglichen nichtshockbaren Rhythmus (95,7%) in Verbindung gebracht, einem prodromalen Kopfschmerz vor

Kreislaufstillstand (47,8%) und einem negativen kardialen Troponin-T (94,7%; [591]). Patienten mit SAH können EKG-Veränderungen aufweisen, die auf ein akutes Koronarsyndrom hinweisen [588, 594–596].

Dies kann nach ROSC dahingehend eine Herausforderung darstellen, ob die Patienten frühzeitig ein Schädel-CT erhalten oder direkt zur Koronarangiographie gehen sollen. Die Reihenfolge Schädel-CT versus frühe Koronarangiographie soll auf dem klinischen Verdacht basieren (siehe Kap. 7 Postreanimationsbehandlung; [271]). Die Prognose ist selbst bei Patienten mit ROSC nach einer SAH schlecht [588, 594, 597]. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass ein Kreislaufstillstand bei größeren, schwereren Blutungen nach einer SAH auftritt [598].

Plötzlicher unerwarteter Tod bei Epilepsie. Der plötzliche unerwartete Tod bei Epilepsie (SUDEP) betrifft etwa 1 von 100 Personen mit Epilepsie [599]. Daten aus dem nordamerikanischen SUDEP-Register zeigten, dass SUDEP-Fälle ein Durchschnittsalter von 26 Jahren zum Zeitpunkt des Todes hatten, 38% weiblich waren, 40% eine generalisierte und 60% eine fokale Epilepsie hatten; die meisten Fälle (93%) waren nicht beobachtet, 70% traten während des scheinbaren Schlafs auf, 69% der Patienten schliefen in Bauchlage und nur 37% der Fälle von SUDEP hatten ihre letzte Dosis an Antikonvulsiva eingenommen. Ein Cochrane-Review ergab nur eine geringe Evidenz für Interventionen zur Verhinderung eines SUDEP zusätzlich zur Verbesserung der Anfallskontrolle, z. B. wenn sich eine Aufsichtsperson ein Schlafzimmer teilt und Überwachungsgeräte verwendet werden [600].

Schlaganfall. Daten aus dem Schlaganfallregister von Ontario ergaben, dass 3,9% der Patienten mit akutem ischämischen Schlaganfall ebenfalls einen Kreislaufstillstand hatten [601]. Das Risiko eines Arrests war bei älteren Patienten mit höherem Schlaganfallschweregrad, Diabetes, Myokardinfarkt, Herzinsuffizienz und Vorhofflimmern erhöht. Die Mortalität nach 30 Tagen betrug 82,1% bei

Patienten mit Schlaganfall mit Kreislaufstillstand gegenüber 9,3% bei Patienten mit Schlaganfall ohne Kreislaufstillstand. Daten aus dem gesamtjapanischen Utstein-Register berichteten, dass 7,7% der OHCA-Fälle einen schlaganfallbedingten Kreislaufstillstand hatten [602]. Diese Gruppe hatte ein schlechteres Outcome als Patienten mit primären Kreislaufstillstand.

Outcome. Das Überleben nach einem plötzlichen neurologischen Tod hängt von der zugrundeliegenden Ursache und der Überlebenskette ab (d. h. beobachtet, frühzeitige CPR durch Notfallzeugen, ALS und Zuschauer Postreanimationsbehandlung). Das Überleben ist im Allgemeinen schlechter als bei einem primären Kreislaufstillstand [1, 585]. Personen, die nach einer primär neurologischen Ursache des Kreislaufstillstands einen ROSC haben, können sich möglicherweise nicht erholen und lebenserhaltende Behandlungen werden beendet oder sie erfüllen die Kriterien für einen Tod nach neurologischen Kriterien. Diese Patienten sollen gemäß der örtlichengesetzlichen und klinischen Kriterien für eine Organspende in Betracht gezogen werden (siehe Kap. 7 Postreanimationsbehandlung; [271]).

Fettleibigkeit

Übergewicht und Fettleibigkeit werden als abnormale oder exzessive Fettansammlung definiert, die ein Gesundheitsrisiko darstellt. Ein grobes Bevölkerungsmaß für Fettleibigkeit ist der Body-Mass-Index (BMI), das Gewicht einer Person (in kg) geteilt durch das Quadrat ihrer Größe (in Metern). Eine Person mit einem BMI von 30 kg/m² oder mehr gilt allgemein als fettleibig. Im Jahr 2016 waren mehr als 1,9 Mrd. (39%) Erwachsene übergewichtig, von denen über 600 Mio. (13%) fettleibig waren. In den USA lag die altersbereinigte Prävalenz von Adipositas in den Jahren 2013–2014 bei Männern bei 35,0% und bei Frauen bei 40,4% [603].

Klinische und epidemiologische Erkenntnisse haben Fettleibigkeit mit einem breiten Spektrum kardiovaskulärer Erkrankungen in Verbindung gebracht, darunter koronare Herzer-

krankung, Herzinsuffizienz, Bluthochdruck, Schlaganfall, Vorhofflimmern und plötzlicher Herztod. Übergewicht kann die kardiovaskuläre Morbidität und Mortalität direkt und indirekt erhöhen. Direkte Effekte werden durch Fettleibigkeit hervorgerufene strukturelle und funktionelle Adaptationen des Herz-Kreislauf-Systems zur Anpassung an übermäßiges Körpergewicht sowie durch Adipokineffekte auf Entzündungen und Gefäßhomöostase vermittelt. Indirekte Effekte werden durch gleichzeitig bestehende Risikofaktoren wie Insulinresistenz, Hyperglykämie, Hypertonie und Dyslipidämie vermittelt [604–606].

Ein Scoping-Review mithilfe der PubMed-Suchmaschine wurde am 27. März 2020 unter Verwendung der Schlüsselwörter „Fettleibigkeit“ UND „Kreislaufstillstand oder Kreislaufstillstand“ ODER „Wiederbelebung oder kardiopulmonale Wiederbelebung“ in den letzten 5 Jahren durchgeführt ($n=122$). Es wurden zwei Metaanalysen zum Zusammenhang zwischen BMI und Ergebnis nach Kreislaufstillstand veröffentlicht [607, 608]. Die Modifikation der Thoraxkompression basiert auf einer retrospektiven Studie zur Bewertung der Thoraxkompressionstiefe bei adipösen Patienten mithilfe der Computertomographie (CT; [609]).

Behandlung von Kreislaufstillstand.

Bei der Wiederbelebung adipöser Patienten werden keine Änderungen in der Reihenfolge der Maßnahmen empfohlen. Die Durchführung einer effektiven CPR kann jedoch schwierig sein. Physikalische und physiologische Faktoren im Zusammenhang mit Fettleibigkeit können die Durchführung von CPR nachteilig beeinflussen, einschließlich Zugang zum Patienten und Transport, Beurteilung des Patienten, schwieriger i.v. Zugang, Atemwegsmanagement, Qualität der Thoraxkompressionen, Wirksamkeit vasoaktiver Arzneimittel und Wirksamkeit der Defibrillation, da keine dieser Maßnahmen hinsichtlich BMI oder Gewicht eines Patienten standardisiert sind [610].

Thoraxkompressionen

Gesundheitsdienstleister sollen eine tiefere Thoraxkompression bei adipösen Patienten mit einer maximalen Tiefe

von 6 cm mithilfe eines Feedback-Geräts in Betracht ziehen, sofern verfügbar. Übergewichtige Patienten, die in einem Bett liegen, müssen nicht unbedingt auf den Boden gebracht werden. Ihr schwerer Rumpf sinkt in die Matratze und lässt weniger Potenzial für eine Verschiebung der Matratze während der Thoraxkompression [611, 612]. Die Repositionierung fettleibiger Patienten kann die Einleitung der CPR verzögern, aber auch Verletzungen von Patient und Rettern verursachen.

Die die Thoraxkompressionen vornehmenden Helfer sollen im Vergleich zum Standardintervall von 2 min häufiger gewechselt werden, um eine ausreichende Kompressionstiefe (6 cm) aufrechtzuerhalten [83].

Die Verwendung mechanischer Thoraxkompressionsgeräte könnte in Betracht gezogen werden, obwohl die Körperdimensionen und die Neigung der vorderen Brustwand die Verwendbarkeit der meisten Geräte bei Patienten mit Adipositas per magna einschränken. Die Obergrenzen umfassen eine Brustbeinhöhe von 303 oder 340 mm und eine Brustbreite von 449 oder 480 mm für kolbenbetriebene Geräte; ein Brustumfang von 130 cm, eine Brustbreite von 380 mm und ein Körpergewicht von 136 kg für Geräte mit Lastverteilungsband.

Defibrillation

Die Defibrillationsprotokolle für adipöse Patienten sollen den für Patienten mit einem normalen BMI empfohlenen Protokollen mit einer Steigerung der Energie bis zum für nachfolgende Schocks maximal möglichen Wert folgen, wenn anfängliche Defibrillationsversuche fehlschlagen (Expertenmeinung). Optimale Defibrillationsenergieniveaus bei adipösen Patienten sind nicht bekannt. Moderne biphasige Defibrillatoren passen ihre Leistung an die Impedanz des Patienten an. Zwei kleine retrospektive Studien haben keinen offensichtlichen gewichtsbasierten Einfluss auf die Defibrillationseffizienz mit einer biphasischen Wellenform von 150 J gezeigt, die hohe Schockerfolgsraten erzielt, ohne dass eine Energieeskalation erforderlich ist [613, 614]. Ein RCT zur Bewertung der Kardioversion von Vorhofflimmern bei adipösen Patienten berichtete jedoch über eine gerin-

gere Erfolgsrate bei Verwendung von Klebepads mit Standardenergiestufen. Die Verwendung von Paddeln oder manueller Druckverstärkungstechnik verbesserte den Erfolg der elektrischen Therapie weiter [615].

Atemwegsmanagement und Beatmung

Die manuelle Beatmung mit einer Beutel-Masken-Technik soll von erfahrenem Personal mit einer Zwei-Personen-Technik durchgeführt werden. Die Zunahme des Abdominalvolumens adipöser Personen erhöht den intraabdominalen Druck und positioniert das Zwerchfell in kranialer Richtung neu [616]. Dies erfordert höhere Inspirationsdrücke für eine kontrollierte Beatmung, was das Risiko von Mageninsufflation und Aspiration des Mageninhalts erhöht.

Erfahrene Helfer sollen frühzeitig endotracheal intubieren, damit die Dauer der Beutel-Masken-Beatmung auf ein Minimum beschränkt bleibt. Bei allen Patienten mit krankhafter Fettleibigkeit muss mit einer schwierigen Intubation gerechnet werden [617–619]. Wenn eine Intubation nicht möglich ist, soll die Verwendung eines supraglottischen Atemwegs (SGA) mit ausreichender Druckabdichtung und eines Ösophagusdrainageschlauchs als geeignete Option in Betracht gezogen werden [620, 621].

Logistische Überlegungen. Bei der Organisation der prähospitalen Wiederbelebung muss Fettleibigkeit berücksichtigt werden, insbesondere in Bezug auf die technische Unterstützung und die Anzahl der Rettungskräfte [622]. Wenn möglich, sollen spezielle Fahrzeuge verwendet werden, die für den Transport extrem fettleibiger Patienten modifiziert sind und mit verstärkten Krankentragen und speziellen Hebevorrichtungen ausgestattet sind. Die Gewichtsgrenzen von Krankentragen und Krankenhausbetten müssen vor der Verwendung bekannt sein [623]. Eine Unterschätzung der technischen Aspekte von Rettungsaktionen kann zu einem sekundären Trauma führen oder sogar den Transport zum Krankenhaus unmöglich machen [622].

Kreislaufstillstand in der Schwangerschaft

Die maternale Sterblichkeit ist im Jahr 2017 mit geschätzten 295.000 Todesfällen weiterhin hoch, wobei die Mehrzahl (94%) in Ländern mit niedrigem und niedrigem mittlerem Einkommen auftritt (WHO – <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/maternal-mortality> abgerufen am 20. Juli 2020). Ein mütterlicher Kreislaufstillstand ist ein Kreislaufstillstand, der in jedem Stadium der Schwangerschaft und bis zu 6 Wochen nach der Geburt eintritt. In einer britischen Studie betrug die Inzidenz eines Kreislaufstillstands 1 von 36.000 Mutterschaften [624]. Dieser Abschnitt konzentriert sich auf bestimmte zusätzliche Interventionen zur Wiederbelebung während der Schwangerschaft und Entbindung.

Diese Leitlinie entstand durch ein ILCOR Evidence Update [2]. Der Großteil der Leitlinien ist gegenüber den ERC 2015 Special-Circumstances-Leitlinien unverändert [83]. Darüber hinaus wurde diese Anleitung durch Leitlinien der AHA [625], UK Royal College of Obstetricians and Gynaecologists [626], European Society of Cardiology Guidelines for management of cardiovascular disease during pregnancy ergänzt [627]. Der größte Teil basiert auf Expertenmeinungen, unserem Wissen über die Physiologie der Schwangerschaft und Beobachtungsdaten.

Ursachen des Kreislaufstillstands im Zusammenhang mit einer Schwangerschaft.

In den Jahren 2015–2017 verstarben 9,2 Frauen pro 100.000 während der Schwangerschaft oder bis zu 6 Wochen nach der Geburt oder dem Ende der Schwangerschaft [628]. Die häufigsten Ursachen waren Herzerkrankungen (23%), Thromboembolien (16%), Epilepsie und Schlaganfall (13%), Sepsis (10%) und psychische Erkrankungen (10%), Blutungen (8%), Krebs (4%) und Präeklampsie (2%). Das Risiko stieg mit dem Alter, der sozialen Benachteiligung und für ethnische Minderheiten. Eine Studie über Kreislaufstillstände in der Schwangerschaft zwischen 2011 und 2014 identifizierte 66 Kreislaufstillstände, von denen 28 verstarben (42%; [624]).

Von diesen waren etwa 25% (16) der Kreislaufstillstände mit einer Anästhesie verbunden (12 waren fettleibig), und alle überlebten. Das Überleben war schlecht im Fall von OHCA und wenn es eine Verzögerung hinsichtlich perimortalem Kaiserschnitt gab. Die meisten Babys (46) überlebten, 32 bei überlebenden Frauen und 14 bei verstorbenen.

Prävention und Behandlung von Kreislaufstillstand bei schwangeren Patienten.

Dies soll dem Standard-ABCDE-Format entsprechen, in dem festgestellte Probleme identifiziert und behandelt werden. Die frühzeitige Einbeziehung von Spezialisten zur Versorgung kranker geburtshilfflicher Patientinnen und des Neugeborenen ist wichtig, um spezielle Interventionen vornehmen zu können. Experten sind sich einig, dass die Verwendung validierter geburtshilfflicher spezifischer Frühwarnwerte die frühere Erkennung einer Verschlechterung verbessert und eine Risikostratifizierung für kranke Schwangere ermöglicht [625, 626].

Aortokavale Kompression

Nach 20 Schwangerschaftswochen kann die Gebärmutter der schwangeren Frau gegen die Vena cava inferior und die Aorta drücken und den venösen Rückfluss und das Herzzeitvolumen um 3–40% reduzieren [629]. Dies kann eine Hypotonie oder einen Schock verursachen und bei kritisch kranken Patientinnen einen Kreislaufstillstand herbeiführen [630, 631]. Nach einem Kreislaufstillstand können beeinträchtigter venöser Rückfluss und Herzzeitvolumen die Wirksamkeit von Thoraxkompressionen einschränken. Die manuelle Verlagerung der Gebärmutter nach links ist der einfachste Weg, um die aortokavale Kompression zu verringern, und kann effektiver sein als die seitliche Neigung der linken Seite [632, 633]. Dies kann erreicht werden, indem die Gebärmutter von den aortokavalen Gefäßen nach oben und links angehoben wird [625]. Dadurch bleibt die Rückenlage erhalten, sodass bei Bedarf kontinuierlich effektive Thoraxkompressionen möglich sind.

Studien ohne Arrest zeigen, dass die Neigung der linken Seite den Blutdruck, das Herzzeitvolumen und das Schlagvo-

lumen der Mutter und die fetale Sauerstoffversorgung und Herzfrequenz verbessert [634–636]. Daten ohne Kreislaufstillstand zeigen, dass der gravide Uterus in den meisten Fällen von der Cava weg verschoben werden kann, indem die Patientin in 15 Grad linkslaterale Lagerung positioniert wird [637].

Wenn sich die Schwangere nicht auf einem kippbaren Operationstisch befindet, ist die seitliche Neigung nach links nicht einfach unter Fortführung qualitativ hochwertiger Thoraxkompressionen vorzunehmen. Es wurden verschiedene Methoden beschrieben, um eine seitliche Neigung nach links zu erreichen, einschließlich der Lagerung der Schwangeren auf den Knien des Retters. In einer Manikinstudie nahm die Fähigkeit zur Gewährleistung wirksamer Thoraxkompressionen ab, wenn der Winkel der linken seitlichen Neigung zunahm und die Puppe bei einem Winkel von mehr als 30° zum Rollen neigte [638].

Thoraxkompressionen

Die Thoraxkompressionen sollen gemäß den BLS-Leitlinien mit einer Frequenz von 100 bis 120 min⁻¹ und einer Tiefe von 5 bis 6 cm in der unteren Hälfte des Brustbeins erfolgen [15]. Die Evidenz für eine optimale Handposition ist widersprüchlich. Eine MRT-Studie zeigte keine Veränderung der Herzposition [639], während eine kürzlich durchgeführte echokardiographische Studie darauf hinwies, dass der vergrößerte Uterus das Zwerchfell und das Herz nach oben drücken kann [640]. Die aktuelle Leitlinie basiert auf Expertenmeinungen und verwendet nach Möglichkeit die standardmäßige manuelle Thoraxkompressionstechnik. Die Verwendung mechanischer Thoraxkompressionsgeräte wird in der Schwangerschaft nicht empfohlen.

Perimortale Entbindung des Fötus

Berücksichtigen Sie die Notwendigkeit einer Notfallhysterotomie oder eines Kaiserschnitts, sobald eine schwangere Frau in einen Kreislaufstillstand gerät. Unter bestimmten Umständen wird durch sofortige Wiederbelebungsversuche ein perfundierender Rhythmus wiederhergestellt. In der frühen Schwangerschaft kann dies dazu führen, dass die Schwangerschaft zur Entbindung ausgetragen werden kann. Die Entbindung lindert

die aortokavale Kompression und kann die Wahrscheinlichkeit einer Wiederbelebung von Mutter und Kind verbessern [641]. Die meisten Beweise für eine frühzeitige Entbindung stammen aus Fallberichten und kleinen Beobachtungsstudien [83, 642]. Eine britische Studie über Kreislaufstillstände in der Schwangerschaft zwischen 2011 und 2014 identifizierte 66 Kreislaufstillstände, von denen 49 (74%) einen perimortalen Kaiserschnitt (PMCS) hatten [624]. Bei 61% erfolgte dies innerhalb von 5 min nach dem Kollaps. Die Zeit vom Kollaps bis zur Entbindung bei Überlebenden betrug 7 min (Interquartilbereich [IQR] 2,5–17,5) und 16 min (IQR 6,5–43,5) bei Nichtüberlebenden ($P=0,04$). Wenn PMCS innerhalb von 5 min vorgenommen wurden, überlebten 24 von 25 Babys (96%). Sieben von 10 Babys (70%) überlebten, wenn der PMCS nach mehr als 5 min stattfand ($P=0,06$).

Basierend auf den verfügbaren Daten und dem Konsens der Experten bleiben die ERC-Leitlinien unverändert. – Wenn mehr als 20 Wochen schwanger oder der Uterus über dem Niveau des Nabels tastbar ist und sofortige (innerhalb von 4 min) Wiederbelebung erfolglos ist, entbinden Sie den Fötus durch einen Notkaiserschnitt möglichst innerhalb von 5 min nach dem Kollaps. Dies erfordert, dass die PMCS-Entscheidungsfindung frühzeitig erfolgt und idealerweise am Ort des Kreislaufstillstands stattfindet.

Extrakorporaler Life Support

Das Starten von ECLS vor Kreislaufstillstand oder ECPR, wenn herkömmliche ALS-Maßnahmen fehlschlagen, soll bei schwangeren Patientinnen in den Situationen in Betracht gezogen werden, in denen es verfügbar ist. Eine retrospektive Analyse peripartaler Patientinnen, die zwischen 1997 und 2017 eine extrakorporale Membranoxygenierung benötigten, im Internationalen Register der Organisation für extrakorporale Lebenserhaltung identifizierte 280 Patientinnen [643]. Das Gesamtüberleben betrug 70% und verbesserte sich im Zeitraum der Datenerfassung. Das Überleben war besser, wenn die ECLS vor dem Kreislaufstillstand begonnen wurde: 42 Patientinnen

hatten ECPR, und 19 von 42 (45,2%) verstarben im Krankenhaus.

Andere Modifikationen der erweiterten lebensrettenden Maßnahmen. Defibrillation

Bei Kreislaufstillstand mit schockbarem Rhythmus soll so schnell wie möglich defibrilliert werden. Die transthorakale Impedanz ändert sich während der Schwangerschaft nicht, was darauf hindeutet, dass bei schwangeren Patientinnen Standardschockenergien für Defibrillationsversuche verwendet werden sollen [644]. Es gibt keine Hinweise darauf, dass Schocks negative Auswirkungen auf das fetale Herz haben. Die Linksseitenlagerung und große Brüste erschweren die Positionierung des apikalen Defibrillator-Pads.

Atemwegsmanagement

Schwangere Patientinnen haben ein erhöhtes Risiko für Regurgitation und Aspiration sowie ein erhöhtes Risiko für eine fehlgeschlagene Intubation [645–647]. Der Atemweg soll gemäß den aktuellen ALS-Leitlinien gemanagt werden (Beutel-Maske, supraglottischer Atemweg, Trachealtubus, je nach den Fähigkeiten des Retters). Eine frühzeitige Intubation erleichtert Sauerstoffversorgung und Beatmung und schützt vor Aspiration. Dies erfordert jedoch einen erfahrenen Intubateur und wird gemäß aktueller geburtshilflicher Leitlinien durchgeführt [646].

Reversible Ursachen

Helfer sollen versuchen, häufige und reversible Ursachen für einen Kreislaufstillstand in der Schwangerschaft während Wiederbelebungsversuchen zu identifizieren. Der 4-Hs- und HITS-Ansatz hilft bei der Identifizierung aller häufigen Ursachen für einen Kreislaufstillstand in der Schwangerschaft [626]. Schwangere Patientinnen sind dem Risiko aller anderen Ursachen eines Kreislaufstillstands ihrer Altersgruppe ausgesetzt (z. B. Anaphylaxie, Überdosierung, Trauma). Erwägen Sie die Verwendung von Ultraschall im Bauchbereich durch einen erfahrenen Anwender, um eine Schwangerschaft und mögliche Ursachen eines Kreislaufstillstands in der Schwangerschaft zu erkennen. Verzögern Sie jedoch nicht andere

Behandlungen und minimieren Sie Unterbrechungen der Thoraxkompression.

Blutung

Lebensbedrohliche Blutungen können sowohl prä- als auch postnatal auftreten [648]. Zu den Assoziationen gehören Eileiterschwangerschaft, vorzeitige Plazentalösung, Plazenta praevia, Plazenta accreta und Uterusruptur [649]. Ein Protokoll für massive Blutungen muss in allen Einheiten verfügbar sein und soll regelmäßig in Verbindung mit der Blutbank aktualisiert und geübt werden. Frauen mit hohem Blutungsrisiko sollen in Zentren mit Einrichtungen für Bluttransfusionen, Intensivpflege und andere Interventionen entbunden werden, und Pläne für ihre Behandlung sollen im Voraus erstellt werden. Die Behandlung basiert auf einem ABCDE-Ansatz. Befolgen Sie die bestehenden Leitlinien zur Behandlung geburtshilflicher Massenblutungen [650, 651]. Eine großes RCT zeigte, dass 1g Tranexamsäure i.v. den Tod durch postpartale Blutungen reduzierte, insbesondere wenn sie innerhalb von 3 h verabreicht wurden [652].

Herz-Kreislauf-Erkrankungen

Myokardinfarkt und Aortenaneurysma oder -dissektion oder ihrer Äste sowie peripartale Kardiomyopathie verursachen die meisten Todesfälle aufgrund erworbener Herzerkrankungen. Patienten mit bekannter Herzerkrankung müssen in einer Spezialeinheit behandelt werden. Schwangere können ein akutes Koronarsyndrom entwickeln, typischerweise in Verbindung mit Risikofaktoren wie Fettleibigkeit, älterem Alter, mehrfachen vorausgehenden Schwangerschaften, Rauchen, Diabetes, vorbestehender Hypertonie und einer familiären Vorgeschichte ischämischer Herzerkrankungen [83]. Schwangere können atypische Symptome wie epigastrische Schmerzen und Erbrechen aufweisen. Die perkutane Koronarintervention (PCI) ist die Reperusionsstrategie der Wahl bei ST-Hebungsinfarkt in der Schwangerschaft [627]. Eine Thrombolyse soll in Betracht gezogen werden, wenn keine notfallmäßige PCI verfügbar ist. Eine Analyse von 200 Fällen von Thrombolyse wegen massiver Lungenembolie in der Schwangerschaft ergab eine mütterliche Sterblichkeitsrate von 1% und kam zu

dem Schluss, dass eine thrombolytische Therapie in der Schwangerschaft relativ sicher ist [653].

Präeklampsie und Eklampsie

Eklampsie ist definiert als die Entwicklung von Krämpfen und/oder unerklärlichem Koma während der Schwangerschaft oder postpartal bei Patientinnen mit Anzeichen und Symptomen einer Präeklampsie. Der ERC empfiehlt, die bestehenden Leitlinien für Präeklampsie und Eklampsie zu befolgen (z. B. Hypertonie in der Schwangerschaft): Diagnose- und Management-NICE-Leitlinie, veröffentlicht am 25. Juni 2019 [654].

Fruchtwasserembolie

Eine Fruchtwasserembolie (AFE) tritt normalerweise während der Entbindung mit plötzlichem kardiovaskulären Kollaps, Atemnot, Zyanose, Arrhythmien, Hypotonie und Blutung im Zusammenhang mit disseminierter intravaskulärer Koagulopathie auf [655]. Patienten können vor dem Kollaps Warnzeichen haben, darunter Atemnot, Brustschmerzen, Kältegefühl, Benommenheit, Stress, Panik, ein Gefühl von Nadelstichen in den Fingern, Übelkeit und Erbrechen. Das UK Obstetric Surveillance System (UKOSS) identifizierte zwischen 2005 und 2014 120 Fälle von AFE mit einer geschätzten Gesamt- und tödlichen Inzidenz von 1,7 bzw. 0,3 pro 100.000 und einer Assoziation mit höherem maternalen Alter, Mehrlingsschwangerschaft, Plazenta praevia und Geburtseinleitung, instrumentelle vaginale und Kaiserschnittentbindung [656]. Die Behandlung ist supportiv, da es keine spezifische Therapie gibt, die auf einem ABCDE-Ansatz und der Korrektur der Koagulopathie basiert.

Postreanimationsbehandlung. Die Postreanimationsbehandlung soll den Standardleitlinien entsprechen. Gezieltes Temperaturmanagement wurde in der frühen Schwangerschaft mit Überwachung des fetalen Herzens sicher und effektiv angewandt und führte nach einer termingerechten Entbindung zu einem günstigen Ergebnis für Mutter und Fötus [657, 658].

Vorbereitung auf Kreislaufstillstand in der Schwangerschaft. ALS in der Schwangerschaft erfordern die Koordi-

nation der Wiederbelebung der Mutter, der Kaiserschnittentbindung des Fötus und der Wiederbelebung des Neugeborenen, idealerweise innerhalb von 5 min. Die Evidenz hierfür basiert größtenteils auf Beobachtungsdaten. Um dies zu erreichen, sollen Einrichtungen, die sich wahrscheinlich mit Kreislaufstillstand in der Schwangerschaft befassen, folgendes tun:

- Pläne und Ausrüstung für die Wiederbelebung sowohl der schwangeren Frau als auch des Neugeborenen haben
- Gewährleistung einer frühzeitigen Einbeziehung von Teams für Geburtshilfe, Anästhesie, Intensivmedizin und Neugeborene
- Regelmäßige Schulungen in geburts-hilflichen Notfällen sicherstellen

Die Evidenz dafür stützt sich größtenteils auf Expertenmeinungen und Beobachtungsdaten [659–661].

Korrespondenzadresse

Carsten Lott

Department of Anesthesiology, University Medical Center, Johannes Gutenberg-University Mainz
Mainz, Deutschland
lott@uni-mainz.de

Korrespondierender Übersetzer

Dr. Dr. Burkhard Dirks
Deutscher Rat für Wiederbelebung – German Resuscitation Council (GRC) e. V.
c/o Sektion Notfallmedizin,
Universitätsklinikum Ulm
Prittowitzstraße 43, 89070 Ulm
ndirks@grc-org.de
und
Dr. med. Carsten Lott, MME, FERC
Klinik für Anästhesiologie
Universitätsmedizin
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
lott@uni-mainz.de

Danksagung. Die Übersetzung dieses Kapitels wurde von Dr. med. Carsten Lott, Dr. med. R. Peter Vandenesch, Prof. Dr. med. Hendrik Gervais, Dr. Markus Köstenberger, PD Dr. med. Markus Roessler, Prof. Dr. Andreas Bohn, Sebastian Habicht und Prof. Dr. med. Jochen Hinkelbein geleistet.

GDP wird vom Nationalen Institut für Gesundheitsforschung (NIHR) für angewandte Forschungszusammenarbeit (ARC) West Midlands unterstützt. Die geäußerten Ansichten sind die der Autoren und nicht unbedingt die des NIHR oder des Ministeriums für Gesundheit und Soziales.

Supplementary data. Supplementary material related to this article can be found, in the online version, at <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.011>.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. J.P. Nolan: reports funding from Elsevier for his role as Editor in Chief of the journals Resuscitation and Resuscitation Plus. He reports research funding from the National Institute for Health Research in relation to the PARAMEDIC2 trial and the AIRWAYS2 trial. J. Soar: declares his role as an editor of Resuscitation; he declares institutional research funding for the Audit-7 project. J. Hinkelbein: reports travel funding from Behring and Ambu. G.D. Perkins: reports funding from Elsevier for his role as an editor of the journal Resuscitation. He reports research funding from the National Institute for Health Research in relation to the PARAMEDIC2 trial. J. Yeung: declares research grants from National Institute for Health Research and Resuscitation Council UK. K.-C. Thies: reports Federal research funding for drone AED research.

[Stand 26.5.2020, Originalartikel in Resuscitation]

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Nolan J, Soar J, Eikeland H (2006) The chain of survival. Resuscitation 71:270–271
2. Soar J, Berg KM, Andersen LW et al (2020) Adult advanced life support: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. Resuscitation 156:A80–A119
3. Olasveengen TM, Mancini ME, Perkins GD et al (2020) Adult basic life support: international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. Resuscitation 156:A35–A79
4. Perkins GD, Gräsner J-T, Semeraro F et al. (2021) Kurzfassung. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00883-z>
5. Brown DJ, Brugger H, Boyd J, Paal P (2012) Accidental hypothermia. N Engl J Med 367:1930–1938
6. Paal P, Gordon L, Strapazzon G et al (2016) Accidental hypothermia—an update: the content of this review is endorsed by the international commission for mountain emergency medicine (ICAR MEDCOM). Scand J Trauma Resusc Emerg Med 24:111
7. Paal P, Milani M, Brown D, Boyd J, Ellerton J (2012) Termination of cardiopulmonary resuscitation in mountain rescue. High Alt Med Biol 13:200–208
8. Racinais S, O'Connor F, Nye N, Casa D (2018) www.aphysiol.com. Zugegriffen: 20.01.2021
9. Safar P, Paradis NA, Weil MH (2007) Asphyxial cardiac arrest. In: Paradis NA, Halperin HR, Kern KB, Wenzel V, Chamberlain DA (Hrsg) Cardiac arrest—the science and practice of resuscitation

- medicine, 2. Aufl. Cambridge University Press, Cambridge, S969–993
10. Kitamura T, Kiyohara K, Sakai T et al (2014) Epidemiology and outcome of adult out-of-hospital cardiac arrest of non-cardiac origin in Osaka: a population-based study. *BMJ Open* 4:e6462
 11. Farmery AD, Roe PG (1996) A model to describe the rate of oxyhaemoglobin desaturation during apnoea. *Br J Anaesth* 76:284–291
 12. DeBehnke DJ, Hilander SJ, Dobler DW, Wickman LL, Swart GL (1995) The hemodynamic and arterial blood gas response to asphyxiation: a canine model of pulseless electrical activity. *Resuscitation* 30:169–175
 13. Deasy C, Bray J, Smith K, Bernard S, Cameron P, Committee VS (2013) Hanging-associated out-of-hospital cardiac arrests in Melbourne, Australia. *Emerg Med Clin North Am* 30:38–42
 14. Olasveengen TM, Mancini ME, Perkins GD et al (2020) Adult basic life support: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Circulation* 142:S41–S91
 15. Olasveengen TM, Semeraro F, Ristagno G et al (2021) European resuscitation council guidelines for basic life support. *Resuscitation*. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.009>
 16. Ogawa T, Akahane M, Koike S, Tanabe S, Mizoguchi T, Imamura T (2011) Outcomes of chest compression only CPR versus conventional CPR conducted by lay people in patients with out of hospital cardiopulmonary arrest witnessed by bystanders: nationwide population based observational study. *BMJ* 342:c7106
 17. Riva G, Ringh M, Jonsson M et al (2019) Survival in out-of-hospital cardiac arrest after standard cardiopulmonary resuscitation or chest compressions only before arrival of emergency medical services: nationwide study during three guideline periods. *Circulation*. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.118.038179>
 18. Escutnaire J, Ducrocq F, Singier A et al (2018) Can we define termination of resuscitation criteria in out-of-hospital hanging? *Prehosp Emerg Care*. <https://doi.org/10.1080/10903127.2018.1476635>
 19. Kim MJ, Yoon YS, Park JM et al (2016) Neurologic outcome of comatose survivors after hanging: a retrospective multicenter study. *Am J Emerg Med* 34:1467–1472
 20. Deasy C, Bray J, Smith K, Harris LR, Bernard SA, Cameron P (2011) Paediatric hanging associated out of hospital cardiac arrest in Melbourne, Australia: characteristics and outcomes. *Emerg Med Clin North Am* 28:411–415
 21. Wee JH, Park KN, Oh SH, Youn CS, Kim HJ, Choi SP (2012) Outcome analysis of cardiac arrest due to hanging injury. *Am J Emerg Med* 30:690–694
 22. Davies D, Lang M, Watts R (2011) Paediatric hanging and strangulation injuries: a 10-year retrospective description of clinical factors and outcomes. *Paediatr Child Health* 16:e78–81
 23. Penney DJ, Stewart AHL, Parr MJA (2002) Prognostic outcome indicators following hanging injuries. *Resuscitation* 54:27–29
 24. Wee JH, Park JH, Choi SP, Park KN (2013) Outcomes of patients admitted for hanging injuries with decreased consciousness but without cardiac arrest. *Am J Emerg Med* 31:1666–1670
 25. Muraro A, Roberts G, Worm M et al (2014) Anaphylaxis: guidelines from the European Academy of Allergy and Clinical Immunology. *Allergy* 69:1026–1045
 26. Kleber C, Giesecke MT, Lindner T, Haas NP, Buschmann CT (2014) Requirement for a structured algorithm in cardiac arrest following major trauma: epidemiology, management errors, and preventability of traumatic deaths in Berlin. *Resuscitation* 85:405–410
 27. Brenner ML, Moore LJ, DuBose JJ et al (2013) A clinical series of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta for hemorrhage control and resuscitation. *J Trauma Acute Care Surg* 75:506–511
 28. Zwingmann J, Mehlhorn AT, Hammer T, Bayer J, Sudkamp NP, Strohm PC (2012) Survival and neurologic outcome after traumatic out-of-hospital cardiopulmonary arrest in a pediatric and adult population: a systematic review. *Crit Care* 16:R117
 29. Leis CC, Hernandez CC, Blanco MJ, Paterna PC, Hernandez Rde E, Torres EC (2013) Traumatic cardiac arrest: should advanced life support be initiated? *J Trauma Acute Care Surg* 74:634–638
 30. Bulger EM, Perina DG, Qasim Z et al (2019) Clinical use of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) in civilian trauma systems in the USA, 2019: a joint statement from the American College of Surgeons Committee on Trauma, the American College of Emergency Physicians, the National Association of Emergency Medical Services Physicians and the National Association of Emergency Medical Technicians. *Trauma Surg Acute Care Open* 4:e376
 31. Schimrigk J, Baulig C, Buschmann C et al (2020) Indications, procedure and outcome of prehospital emergency resuscitative thoracotomy—a systematic literature search. *Unfallchirurg* 123:711–723
 32. Seamon MJ, Chovanec J, Fox N et al (2012) The use of emergency department thoracotomy for traumatic cardiopulmonary arrest. *Injury* 43:1355–1361
 33. Escutnaire J, Genin M, Babykina E et al (2018) Traumatic cardiac arrest is associated with lower survival rate vs. medical cardiac arrest—results from the French national registry. *Resuscitation* 131:48–54
 34. Beck B, Tohira H, Bray JE et al (2016) Trends in traumatic out-of-hospital cardiac arrest in Perth, Western Australia from 1997 to 2014. *Resuscitation* 98:79–84
 35. Evans CC, Petersen A, Meier EN et al (2016) Prehospital traumatic cardiac arrest: management and outcomes from the resuscitation outcomes consortium epistry-trauma and PROPHET registries. *J Trauma Acute Care Surg* 81:285–293
 36. Barnard E, Yates D, Edwards A, Fragoso-Iniguez M, Jenks T, Smith JE (2017) Epidemiology and aetiology of traumatic cardiac arrest in England and Wales—a retrospective database analysis. *Resuscitation* 110:90–94
 37. Zwingmann J, Lefering R, Feucht M, Sudkamp NP, Strohm PC, Hammer T (2016) Outcome and predictors for successful resuscitation in the emergency room of adult patients in traumatic cardiorespiratory arrest. *Crit Care* 20:282
 38. Spahn DR, Bouillon B, Cerny V et al (2019) The European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: fifth edition. *Crit Care* 23:98
 39. Cera SM, Mostafa G, Sing RF, Sarafin JL, Matthews BD, Heniford BT (2003) Physiologic predictors of survival in post-traumatic arrest. *Am Surg* 69:140–144
 40. Stratton SJ, Brickett K, Crammer T (1998) Prehospital pulseless, unconscious penetrating trauma victims: field assessments associated with survival. *J Trauma* 45:96–100
 41. Chen YC, Wu KH, Hsiao KY et al (2019) Factors associated with outcomes in traumatic cardiac arrest patients without prehospital return of spontaneous circulation. *Injury* 50:4–9
 42. Seamon MJ, Haut ER, Van Arendonk K et al (2015) An evidence-based approach to patient selection for emergency department thoracotomy: a practice management guideline from the eastern association for the surgery of trauma. *J Trauma Acute Care Surg* 79:159–173
 43. Djarv T, Axelsson C, Herlitz J, Stromsoe A, Israelsson J, Claesson A (2018) Traumatic cardiac arrest in Sweden 1990–2016—a population-based national cohort study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 26:30
 44. Israr S, Cook AD, Chapple KM et al (2019) Pulseless electrical activity following traumatic cardiac arrest: Sign of life or death? *Injury* 50:1507–1510
 45. Millin MG, Galvagno SM, Khandker SR et al (2013) Withholding and termination of resuscitation of adult cardiopulmonary arrest secondary to trauma: resource document to the joint NAEMSP-ACSCOT position statements. *J Trauma Acute Care Surg* 75:459–467
 46. Luna GK, Pavlin EG, Kirkman T, Copass MK, Rice CL (1989) Hemodynamic effects of external cardiac massage in trauma shock. *J Trauma* 29:1430–1433
 47. Jeffcoach DR, Gallegos JJ, Jesty SA et al (2016) Use of CPR in hemorrhagic shock, a dog model. *J Trauma Acute Care Surg* 81:27–33
 48. Watts S, Smith JE, Gwyther R, Kirkman E (2019) Closed chest compressions reduce survival in an animal model of haemorrhage-induced traumatic cardiac arrest. *Resuscitation* 140:37–42
 49. Endo A, Kojima M, Hong ZJ, Otomo Y, Coimbra R (2020) Open-chest versus closed-chest cardiopulmonary resuscitation in trauma patients with signs of life upon hospital arrival: a retrospective multicenter study. *Crit Care* 24:541
 50. Sperry JL, Guyette FX, Brown JB et al (2018) Prehospital plasma during air medical transport in trauma patients at risk for hemorrhagic shock. *N Engl J Med* 379:315–326
 51. Guyette FX, Sperry JL, Peitzman AB et al (2019) Prehospital blood product and crystalloid resuscitation in the severely injured patient: a secondary analysis of the prehospital air medical plasma trial. *Ann Surg*. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000003324>
 52. Singletary EM (2020) 2020 International Consensus on First Aid Science With Treatment Recommendations. *Resuscitation* 156:A240–A82
 53. Yue JK, Tsolinas RE, Burke JF et al (2019) Vasopressor support in managing acute spinal cord injury: current knowledge. *J Neurosurg Sci* 63:308–317
 54. Atkinson JL (2000) The neglected prehospital phase of head injury: apnea and catecholamine surge. *Mayo Clin Proc* 75:37–47
 55. Wilson MH, Hinds J, Grier G, Burns B, Carley S, Davies G (2016) Impact brain apnoea—a forgotten cause of cardiovascular collapse in trauma. *Resuscitation* 105:52–58
 56. Hudson AJ, Strandenes G, Bjerkvig CK, Svanevik M, Glassberg E (2018) Airway and ventilation management strategies for hemorrhagic shock. To tube, or not to tube, that is the question! *J Trauma Acute Care Surg* 84:S77–S82
 57. El-Sayed AA, Arafa SK, El-Demerdash AM (2019) Pressure-controlled ventilation could decrease intraoperative blood loss and improve airway pressure measures during lumbar discectomy in

- the prone position: a comparison with volume-controlled ventilation mode. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol* 35:468–474
58. Pepe PE, Roppolo LP, Fowler RL (2005) The detrimental effects of ventilation during low-blood-flow states. *Curr Opin Crit Care* 11:212–218
 59. Deakin CD, Davies G, Wilson A (1995) Simple thoracostomy avoids chest drain insertion in prehospital trauma. *J Trauma* 39:373–374
 60. Escott ME, Gleisberg GR, Kimmel K, Karrer A, Cosper J, Monroe BJ (2014) Simple thoracostomy. Moving beyond needle decompression in traumatic cardiac arrest. *JEMS* 39:26–32
 61. Clemency BM, Tanski CT, Rosenberg M, May PR, Consiglio JD, Lindstrom HA (2015) Sufficient catheter length for pneumothorax needle decompression: a meta-analysis. *Prehosp Disaster Med* 30:249–253
 62. Hecker M, Hegenscheid K, Volzke H et al (2016) Needle decompression of tension pneumothorax: population-based epidemiologic approach to adequate needle length in healthy volunteers in northeast Germany. *J Trauma Acute Care Surg* 80:119–124
 63. Flaris AN, Simms ER, Prat N, Reynard F, Caillot JL, Voiglio EJ (2015) Clamshell incision versus left anterolateral thoracotomy. Which one is faster when performing a resuscitative thoracotomy? The tortoise and the hare revisited. *World J Surg* 39:1306–1311
 64. Wise D, Davies G, Coats T, Lockey D, Hyde J, Good A (2005) Emergency thoracotomy: “how to do it”. *Emerg Med Clin North Am* 22:22–24
 65. Rhee PM, Acosta J, Bridgeman A, Wang D, Jordan M, Rich N (2000) Survival after emergency department thoracotomy: review of published data from the past 25 years. *J Am Coll Surg* 190:288–298
 66. Burlaw CC, Moore EE, Moore FA et al (2012) Western Trauma Association critical decisions in trauma: resuscitative thoracotomy. *J Trauma Acute Care Surg* 73:1359–1363
 67. National Institute for Clinical Excellence (2004) Prehospital initiation of fluid replacement therapy for trauma. National Institute for Clinical Excellence, London
 68. Harris T, Thomas GO, Brohi K (2012) Early fluid resuscitation in severe trauma. *BMJ* 345:e5752
 69. Jansen JO, Thomas R, Loudon MA, Brooks A (2009) Damage control resuscitation for patients with major trauma. *BMJ* 338:b1778
 70. Holcomb JB, Tilley BC, Baraniuk S et al (2015) Transfusion of plasma, platelets, and red blood cells in a 1:1:1 vs a 1:1:2 ratio and mortality in patients with severe trauma: the PROPPR randomized clinical trial. *JAMA* 313:471–482
 71. Cannon JW, Khan MA, Raja AS et al (2017) Damage control resuscitation in patients with severe traumatic hemorrhage: a practice management guideline from the eastern association for the surgery of trauma. *J Trauma Acute Care Surg* 82:605–617
 72. collaborators C, Roberts I, Shakur H et al (2011) The importance of early treatment with tranexamic acid in bleeding trauma patients: an exploratory analysis of the CRASH-2 randomised controlled trial. *Lancet* 377:1096–101 e1–2
 73. Ferrada P, Wolfe L, Anand RJ et al (2014) Use of limited transthoracic echocardiography in patients with traumatic cardiac arrest decreases the rate of nontherapeutic thoracotomy and hospital costs. *J Ultrasound Med* 33:1829–1832
 74. Sampson HA, Munoz-Furlong A, Campbell RL et al (2006) Second symposium on the definition and management of anaphylaxis: summary report—Second National Institute of Allergy and Infectious Disease/Food Allergy and Anaphylaxis Network symposium. *J Allergy Clin Immunol* 117:391–397
 75. Turner PJ, Campbell DE, Motosue MS, Campbell RL (2020) Global trends in anaphylaxis epidemiology and clinical implications. *J Allergy Clin Immunol Pract* 8:1169–1176
 76. Anagnostou K, Turner PJ (2019) Myths, facts and controversies in the diagnosis and management of anaphylaxis. *Arch Dis Child* 104:83–90
 77. Simons FE, Ebisawa M, Sanchez-Borges M et al (2020) 2015 update of the evidence base: World Allergy Organization anaphylaxis guidelines. *World Allergy Organ J* 8:32
 78. Shaker MS, Wallace DV, Golden DBK et al (2020) Anaphylaxis—a 2020 practice parameter update, systematic review, and grading of recommendations, assessment, development and evaluation (GRADE) analysis. *J Allergy Clin Immunol* 145:1082–1123
 79. Garvey LH, Dewachter P, Hepner DL et al (2019) Management of suspected immediate perioperative allergic reactions: an international overview and consensus recommendations. *Br J Anaesth* 123:e50–e64
 80. Harper NJN, Cook TM, Garcez T et al (2018) Anaesthesia, surgery, and life-threatening allergic reactions: management and outcomes in the 6th National Audit Project (NAP6). *Br J Anaesth* 121:172–188
 81. Ebo DG, Clarke RC, Mertes PM, Platt PR, Sabato V, Sadleir PHM (2019) Molecular mechanisms and pathophysiology of perioperative hypersensitivity and anaphylaxis: a narrative review. *Br J Anaesth* 123:e38–e49
 82. Dhami S, Panesar SS, Roberts G et al (2014) Management of anaphylaxis: a systematic review. *Allergy* 69:168–175
 83. Truhlar A, Deakin CD, Soar J et al (2015) European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 4. Cardiac arrest in special circumstances. *Resuscitation* 95:148–201
 84. Visscher PK, Vetter RS, Camazine S (1996) Removing bee stings. *Lancet* 348:301–302
 85. Lee JA, Singletary E, Charlton N (2020) Methods of honey bee stinger removal: a systematic review of the literature. *Cureus* 12:e8078
 86. Sheikh A, Shehata YA, Brown SG, Simons FE (2009) Adrenaline for the treatment of anaphylaxis: cochrane systematic review. *Allergy* 64:204–212
 87. Singletary EM, Zideman DA, De Buck ED et al (2015) Part 9: first aid: 2015 international consensus on first aid science with treatment recommendations. *Circulation* 132:S269–S311
 88. Kelso JM (2006) A second dose of epinephrine for anaphylaxis: how often needed and how to carry. *J Allergy Clin Immunol* 117:464–465
 89. Gabrielli S, Clarke A, Morris J et al (2019) Evaluation of prehospital management in a Canadian emergency department anaphylaxis cohort. *J Allergy Clin Immunol Pract* 7:2232–2238e3
 90. Pumphrey RSH (2003) Fatal posture in anaphylactic shock. *J Allergy Clin Immunol* 112:451–452
 91. Rhodes A, Evans LE, Alhazzani W et al (2017) Surviving sepsis campaign: international guidelines for management of sepsis and septic shock: 2016. *Intensive Care Med* 43:304–377
 92. Padhi S, Bullock I, Li L, National Institute for H, Care Excellence Guideline Development G (2013) Intravenous fluid therapy for adults in hospital: summary of NICE guidance. *BMJ* 347:f7073
 93. Ruiz-Garcia M, Bartra J, Alvarez O et al (2020) Cardiovascular changes during peanut-induced allergic reactions in human subjects. *J Allergy Clin Immunol*. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2020.06.033>
 94. O’Driscoll BR, Howard LS, Earis J, Mak V, British Thoracic Society Emergency Oxygen Guideline G, Group BTSEOGD (2017) BTS guideline for oxygen use in adults in healthcare and emergency settings. *Thorax* 72:ii1–ii90
 95. Liyanage CK, Galappaththy P, Seneviratne SL (2017) Corticosteroids in management of anaphylaxis; a systematic review of evidence. *Eur Ann Allergy Clin Immunol* 49:196–207
 96. Nurmatov UB, Rhatigan E, Simons FE, Sheikh A (2014) H2-antihistamines for the treatment of anaphylaxis with and without shock: a systematic review. *Ann Allergy Asthma Immunol* 112:126–131
 97. Choo KJ, Simons E, Sheikh A (2010) Glucocorticoids for the treatment of anaphylaxis: Cochrane systematic review. *Allergy* 65:1205–1211
 98. Alqurashi W, Ellis AK (2017) Do corticosteroids prevent biphasic anaphylaxis? *J Allergy Clin Immunol Pract* 5:1194–1205
 99. Lee S, Bellolio MF, Hess EP, Campbell RL (2014) Predictors of biphasic reactions in the emergency department for patients with anaphylaxis. *J Allergy Clin Immunol Pract* 2:281–287
 100. Soar J (2021) European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2021 Advanced Life Support. Resuscitation. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.010>
 101. Harper NJN, Nolan JP, Soar J, Cook TM (2020) Why chest compressions should start when systolic arterial blood pressure is below 50 mm Hg in the anaesthetised patient. *Br J Anaesth* 124:234–238
 102. Soar J, Maconochie I, Wyckoff MH et al (2019) 2019 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 145:95–150
 103. <https://www.allergy.org.au/hp/papers/acute-management-of-anaphylaxis-guidelines>. Zugegriffen: 10. August 2020
 104. Soar J, Pumphrey R, Cant A et al (2008) Emergency treatment of anaphylactic reactions—guidelines for healthcare providers. *Resuscitation* 77:157–169
 105. Excellence NifHaC (2016) Sepsis: recognition, assessment and early management. NICE Guideline 51. National Institute for Health and Care Excellence, London
 106. Levy MM, Evans LE, Rhodes A (2018) The surviving sepsis campaign bundle: 2018 update. *Intensive Care Med* 44:925–928
 107. Levy MM, Dellinger RP, Townsend SR et al (2010) The Surviving Sepsis Campaign: results of an international guideline-based performance improvement program targeting severe sepsis. *Crit Care Med* 38:367–374
 108. Levy MM, Rhodes A, Phillips GS et al (2015) Surviving Sepsis Campaign: association between performance metrics and outcomes in a 7.5-year study. *Crit Care Med* 43:3–12
 109. Asfar P, Meziani F, Hamel JF et al (2014) High versus low blood-pressure target in patients with septic shock. *N Engl J Med* 370:1583–1593
 110. Lamontagne F, Meade MO, Hebert PC et al (2016) Higher versus lower blood pressure targets for vasopressor therapy in shock: a multicentre pilot randomized controlled trial. *Intensive Care Med* 42:542–550
 111. Gu WJ, Zhang Z, Bakker J (2015) Early lactate clearance-guided therapy in patients with sepsis: a meta-analysis with trial sequential analysis of

- randomized controlled trials. *Intensive Care Med* 41:1862–1863
112. Simpson SQ, Gaines M, Hussein Y, Badgett RG (2016) Early goal-directed therapy for severe sepsis and septic shock: a living systematic review. *J Crit Care* 36:43–48
 113. Acheampong A, Vincent JL (2015) A positive fluid balance is an independent prognostic factor in patients with sepsis. *Crit Care* 19:251
 114. Brotfain E, Koifman L, Toledano R et al (2016) Positive fluid balance as a major predictor of clinical outcome of patients with sepsis/septic shock after ICU discharge. *Am J Emerg Med* 34:2122–2126
 115. Mitchell KH, Carlbom D, Caldwell E, Leary PJ, Himmelfarb J, Hough CL (2015) Volume overload: prevalence, risk factors, and functional outcome in survivors of septic shock. *Ann Am Thorac Soc* 12:1837–1844
 116. Alfonzo A, Harris A, Baines R, Chu A, Mann S (2020) Clinical practice guidelines treatment of acute hyperkalemia in adults. The Renal Association, London
 117. Moore ML, Bailey RR (1989) Hyperkalaemia in patients in hospital. *N Z Med J* 102:557–558
 118. Shemer J, Modan M, Ezra D, Cabili S (1983) Incidence of hyperkalemia in hospitalized patients. *Isr J Med Sci* 19:659–661
 119. Conway R, Creagh D, Byrne DG, O’Riordan D, Silke B (2015) Serum potassium levels as an outcome determinant in acute medical admissions. *Clin Med* 15:239–243
 120. Wallmuller C, Meron G, Kurkciyan I, Schober A, Stratil P, Sterz F (2012) Causes of in-hospital cardiac arrest and influence on outcome. *Resuscitation* 83:1206–1211
 121. Wang CH, Huang CH, Chang WT et al (2016) The effects of calcium and sodium bicarbonate on severe hyperkalaemia during cardiopulmonary resuscitation: A retrospective cohort study of adult in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 98:105–111
 122. Saarinen S, Nurmi J, Toivio T, Fredman D, Virkkunen I, Castren M (2012) Does appropriate treatment of the primary underlying cause of PEA during resuscitation improve patients’ survival? *Resuscitation* 83:819–822
 123. Smellie WS (2007) Spurious hyperkalaemia. *BMJ* 334:693–695
 124. Sevastos N, Theodossades G, Archimandritis AJ (2008) Pseudohyperkalemia in serum: a new insight into an old phenomenon. *Clin Med Res* 6:30–32
 125. Ahn S, Kim WY, Sohn CH, Seo DW, Kim W, Lim KS (2011) Potassium values in cardiac arrest patients measured with a point-of-care blood gas analyzer. *Resuscitation* 82:e25–e26
 126. Allardet-Servent J, Lebsir M, Dubroca C et al (2017) Point-of-care versus central laboratory measurements of hemoglobin, hematocrit, glucose, bicarbonate and electrolytes: a prospective observational study in critically ill patients. *PLoS ONE* 12:e169593
 127. Dashevsky M, Bernstein SL, Barsky CL, Taylor RA (2017) Agreement between serum assays performed in ED point-of-care and hospital central laboratories. *West J Emerg Med* 18:403–409
 128. Acikgoz SB, Genc AB, Sipahi S et al (2016) Agreement of serum potassium measured by blood gas and biochemistry analyzer in patients with moderate to severe hyperkalemia. *Am J Emerg Med* 34:794–797
 129. Durfey N, Lehnhof B, Bergeson A et al (2017) Severe hyperkalemia: Can the electrocardiogram risk stratify for short-term adverse events? *West J Emerg Med* 18:963–971
 130. Batterink J, Lin J, Au-Yeung SH, Cessford T (2015) Effectiveness of sodium polystyrene sulfonate for short-term treatment of hyperkalemia. *Can J Hosp Pharm* 68:296–303
 131. Moussavi K, Nguyen LT, Hua H, Fitter S (2020) Comparison of IV insulin dosing strategies for hyperkalemia in the emergency department. *Crit Care Explor* 2:e92
 132. Farina N, Anderson C (2018) Impact of dextrose dose on hypoglycemia development following treatment of hyperkalemia. *Ther Adv Drug Saf* 9:323–329
 133. Apel J, Reutrakul S, Baldwin D (2014) Hypoglycemia in the treatment of hyperkalemia with insulin in patients with end-stage renal disease. *Clin Kidney J* 7:248–250
 134. Coca A, Valencia AL, Bustamante J, Mendiluce A, Floege J (2017) Hypoglycemia following intravenous insulin plus glucose for hyperkalemia in patients with impaired renal function. *PLoS ONE* 12:e172961
 135. Scott NL, Klein LR, Cales E, Driver BE (2019) Hypoglycemia as a complication of intravenous insulin to treat hyperkalemia in the emergency department. *Am J Emerg Med* 37:209–213
 136. Boughton CK, Dixon D, Goble E et al (2019) Preventing hypoglycemia following treatment of hyperkalemia in hospitalized patients. *J Hosp Med* 14:284–287
 137. LaRue HA, Peksa GD, Shah SC (2017) A comparison of insulin doses for the treatment of hyperkalemia in patients with renal insufficiency. *Pharmacotherapy* 37:1516–1522
 138. Garcia J, Pintens M, Morris A, Takamoto P, Baumgartner L, Tasaka CL (2020) Reduced versus conventional dose insulin for hyperkalemia treatment. *J Pharm Pract* 33:262–266
 139. Pierce DA, Russell G, Pirkle JL Jr. (2015) Incidence of hypokalemia in patients with low eGFR treated with insulin and dextrose for hyperkalemia. *Ann Pharmacother* 49:1322–1326
 140. Allon M, Copkney C (1990) Albuterol and insulin for treatment of hyperkalemia in hemodialysis patients. *Kidney Int* 38:869–872
 141. Ahmed J, Weisberg LS (2001) Hyperkalemia in dialysis patients. *Semin Dial* 14:348–356
 142. Lens XM, Montoliu J, Cases A, Campistol JM, Revert L (1989) Treatment of hyperkalaemia in renal failure: salbutamol v. insulin. *Nephrol Dial Transplant* 4:228–232
 143. Excellence NifHaC (2019) Sodium zirconium cyclosilicate for treating hyperkalaemia. Technology appraisal guidance TA599. National Institute for Health and Care Excellence, London
 144. Excellence NifHaC (2020) Patiromer for treating hyperkalaemia. Technology appraisal guidance TA623. National Institute for Health and Care Excellence, London
 145. Astra Zeneca. Lokelma (sodium zirconium cyclosilicate) for oral suspension: Summary of Product Characteristics. 2018. www.ema.europa.eu/ema/
 146. Kosiborod M, Rasmussen HS, Lavin P et al (2014) Effect of sodium zirconium cyclosilicate on potassium lowering for 28 days among outpatients with hyperkalemia: the HARMONIZE randomized clinical trial. *JAMA* 312:2223–2233
 147. Spinowitz BS, Fishbane S, Pergola PE et al (2019) Sodium zirconium Cyclosilicate among individuals with hyperkalemia: a 12-month phase 3 study. *Clin J Am Soc Nephrol* 14:798–809
 148. Meaney CJ, Beccari MV, Yang Y, Zhao J (2017) Systematic review and meta-analysis of patiromer and sodium zirconium Cyclosilicate: a new armamentarium for the treatment of hyperkalemia. *Pharmacotherapy* 37:401–411
 149. Rafique Z, Liu M, Staggers KA, Minard CG, Peacock WF (2020) Patiromer for treatment of hyperkalemia in the emergency department: a pilot study. *Acad Emerg Med* 27:54–60
 150. Peacock WF, Rafique Z, Vishnevskiy K et al (2020) Emergency potassium normalization treatment including sodium zirconium cyclosilicate: a phase II, randomized, double-blind, placebo-controlled study (ENERGIZE). *Acad Emerg Med* 27:475–486
 151. Lin JL, Lim PS, Leu ML, Huang CC (1994) Outcomes of severe hyperkalemia in cardiopulmonary resuscitation with concomitant hemodialysis. *Intensive Care Med* 20:287–290
 152. Kao KC, Huang CC, Tsai YH, Lin MC, Tsao TC (2000) Hyperkalemic cardiac arrest successfully reversed by hemodialysis during cardiopulmonary resuscitation: case report. *Changeng Yi Xue Za Zhi* 23:555–559
 153. Chiu CC, Yen HH, Chen YL, Siao FY (2014) Severe hyperkalemia with refractory ventricular fibrillation: successful resuscitation using extracorporeal membrane oxygenation. *Am J Emerg Med* 32:943 e5–943 e6
 154. Kim SH, Song JH, Jung KT (2019) Combination of extracorporeal membrane oxygenation and inline hemofiltration for the acute hyperkalemic cardiac arrest in a patient with Duchenne muscular dystrophy following orthopedic surgery—a case report. *Korean J Anesthesiol* 72:178–183
 155. Klingkowski U, Kropshofer G, Crazzolara R, Schachner T, Cortina G (2019) Refractory hyperkalaemic cardiac arrest—What to do first: Treat the reversible cause or initiate E-CPR? *Resuscitation* 142:81
 156. Jensen HK, Brabrand M, Vinholt PJ, Lassen AT (2015) Hypokalemia in acute medical patients: risk factors and prognosis. *Am J Med* 128:60–67 e1
 157. Chen Y, Chang AR, McAdams DeMarco MA et al (2016) Serum potassium, mortality, and kidney outcomes in the atherosclerosis risk in communities study. *Mayo Clin Proc* 91:1403–1412
 158. Skogestad J, Aronsen JM (2018) Hypokalemia-induced arrhythmias and heart failure: new insights and implications for therapy. *Front Physiol* 9:1500
 159. Steiness E, Olesen KH (1976) Cardiac arrhythmias induced by hypokalaemia and potassium loss during maintenance digoxin therapy. *Br Heart J* 38:167–172
 160. Kardalas E, Paschou SA, Anagnostis P, Muscogiuri G, Siasos G, Vryonidou A (2018) Hypokalemia: a clinical update. *Endocr Connect* 7:R135–R146
 161. Huang CL, Kuo E (2007) Mechanism of hypokalemia in magnesium deficiency. *J Am Soc Nephrol* 18:2649–2652
 162. Pasquier M, Guglioli O, Paal P et al (2018) Hypothermia outcome prediction after extracorporeal life support for hypothermic cardiac arrest patients: The HOPE score. *Resuscitation* 126:58–64
 163. Pasquier M, Rousson V, Darocha T et al (2019) Hypothermia outcome prediction after extracorporeal life support for hypothermic cardiac arrest patients: An external validation of the HOPE score. *Resuscitation* 139:321–328
 164. Frei C, Darocha T, Debaty G et al (2019) Clinical characteristics and outcomes of witnessed hypothermic cardiac arrest: a systematic review on rescue collapse. *Resuscitation* 137:41–48
 165. Podsiadlo P, Darocha T, Svendsen OS et al (2020) Outcomes of patients suffering unWitnessed hypothermic cardiac arrest rewarmed with

- extracorporeal life support: a systematic review. *Artif Organs*. <https://doi.org/10.1111/aor.13818>
166. Fujimoto Y, Matsuyama T, Morita S et al (2020) Indoor versus outdoor occurrence in mortality of accidental hypothermia in Japan: the J-point registry. *Ther Hypothermia Temp Manag* 10:159–164
 167. Paal P, Rauch S (2018) Indoor accidental hypothermia in the elderly: an emerging lethal entity in the 21st century. *Emerg Med Clin North Am* 35:667–668
 168. Strapazzon G, Procter E, Paal P, Brugger H (2014) Pre-hospital core temperature measurement in accidental and therapeutic hypothermia. *High Alt Med Biol* 15:104–111
 169. Pasquier M, Paal P, Kosinski S, Brown D, Podsiadlo P, Darocha T (2020) Esophageal temperature measurement. *N Engl J Med* 383:e93
 170. Strapazzon G, Procter E, Putzer G et al (2015) Influence of low ambient temperature on epitympic temperature measurement: a prospective randomized clinical study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 23:90
 171. Muth CM, Shank E, Hauser B, Radermacher P, Groger M, Ehrmann U (2010) Infrared ear thermometry in water-related accidents—not a good choice. *J Emerg Med* 38:417–421
 172. Henriksson O, Lundgren PJ, Kuklane K et al (2015) Protection against cold in prehospital care: wet clothing removal or addition of a vapor barrier. *Wilderness Environ Med* 26:11–20
 173. Lundgren P, Henriksson O, Naredi P, Bjornstig U (2011) The effect of active warming in prehospital trauma care during road and air ambulance transportation—a clinical randomized trial. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 19:59
 174. Darocha T, Kosinski S, Jarosz A et al (2017) Should capnography be used as a guide for choosing a ventilation strategy in circulatory shock caused by severe hypothermia? Observational case-series study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 25:15
 175. Pasquier M, Zurrón N, Weith B et al (2014) Deep accidental hypothermia with core temperature below 24 degrees c presenting with vital signs. *High Alt Med Biol* 15:58–63
 176. Mroczek T, Gladki M, Skalski J (2020) Successful resuscitation from accidental hypothermia of 11.8 degrees C: where is the lower bound for human beings? *Eur J Cardiothorac Surg* 58:1091–1092
 177. Stephen CR, Dent SJ, Hall KD, Smith WW (1961) Physiologic reactions during profound hypothermia with cardioplegia. *Anesthesiology* 22:873–881
 178. Brugger H, Bouzat P, Pasquier M et al (2019) Cut-off values of serum potassium and core temperature at hospital admission for extracorporeal rewarming of avalanche victims in cardiac arrest: a retrospective multi-centre study. *Resuscitation* 139:222–229
 179. Saczkowski RS, Brown DJA, Abu-Laban RB, Fradet G, Schulze CJ, Kuzak ND (2018) Prediction and risk stratification of survival in accidental hypothermia requiring extracorporeal life support: an individual patient data meta-analysis. *Resuscitation* 127:51–57
 180. Gordon L, Paal P (2018) Normothermic and hypothermic cardiac arrest—Beware of Jekyll and Hyde. *Resuscitation* 129:e10–e11
 181. Pasquier M, Paal P, Blancher M, Darocha T (2019) Higher survival chances of hypothermic vs. normothermic cardiac arrest patients with ECLS rewarming. *Resuscitation* 134:161–162
 182. Althaus U, Aeberhard P, Schupbach P, Nachbur BH, Muhlemann W (1982) Management of profound accidental hypothermia with cardiorespiratory arrest. *Ann Surg* 195:492–495
 183. Lexow K (1991) Severe accidental hypothermia: survival after 6 hours 30 minutes of cardiopulmonary resuscitation. *Arctic Med Res* 50(Suppl 6):112–114
 184. Wood S (1991) Interactions between hypoxia and hypothermia. *Annu Rev Physiol* 53:71–85
 185. Mair P, Gasteiger L, Mair B, Stroehle M, Walpoth B (2019) Successful defibrillation of four hypothermic patients with witnessed cardiac arrest. *High Alt Med Biol* 20:71–77
 186. Stoner J, Martin G, O'Mara K, Ehlers J, Tomlanovich M (2003) Amiodarone and bretylium in the treatment of hypothermic ventricular fibrillation in a canine model. *Acad Emerg Med* 10:187–191
 187. Krimer AC, Lindner KH, Kornberger R et al (2000) Cardiopulmonary resuscitation during severe hypothermia in pigs: does epinephrine or vasopressin increase coronary perfusion pressure? *Anesth Analg* 90:69–73
 188. Kornberger E, Lindner KH, Mayr VD et al (2001) Effects of epinephrine in a pig model of hypothermic cardiac arrest and closed-chest cardiopulmonary resuscitation combined with active rewarming. *Resuscitation* 50:301–308
 189. Mazur P, Kosinski S, Podsiadlo P et al (2019) Extracorporeal membrane oxygenation for accidental deep hypothermia—current challenges and future perspectives. *Ann Cardiothorac Surg* 8:137–142
 190. Ruttman E, Weissenbacher A, Ulmer H et al (2007) Prolonged extracorporeal membrane oxygenation-assisted support provides improved survival in hypothermic patients with cardiocirculatory arrest. *J Thorac Cardiovasc Surg* 134:594–600
 191. Gruber E, Beikircher W, Pizzini R et al (2014) Non-extracorporeal rewarming at a rate of 6.8 degrees C per hour in a deeply hypothermic arrested patient. *Resuscitation* 85:e119–e120
 192. Kuhnke M, Albrecht R, Schefold JC, Paal P (2019) Successful resuscitation from prolonged hypothermic cardiac arrest without extracorporeal life support: a case report. *J Med Case Rep* 13:354
 193. Gordon L, Paal P, Ellerton JA, Brugger H, Peek GJ, Zafren K (2015) Delayed and intermittent CPR for severe accidental hypothermia. *Resuscitation* 90:46–49
 194. Boue Y, Payen JF, Brun J et al (2014) Survival after avalanche-induced cardiac arrest. *Resuscitation* 85:1192–1196
 195. Moroder L, Mair B, Brugger H, Voelckel W, Mair P (2015) Outcome of avalanche victims with out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 89:114–118
 196. Metrailler-Mermoud J, Hugli O, Carron PN et al (2019) Avalanche victims in cardiac arrest are unlikely to survive despite adherence to medical guidelines. *Resuscitation* 141:35–43
 197. Brugger H, Durrer B, Elsensohn F et al (2013) Resuscitation of avalanche victims: Evidence-based guidelines of the international commission for mountain emergency medicine (ICAR MEDCOM): intended for physicians and other advanced life support personnel. *Resuscitation* 84:539–546
 198. Van Tilburg C, Grissom CK, Zafren K et al (2017) Wilderness medical society practice guidelines for prevention and management of avalanche and nonavalanche snow burial accidents. *Wilderness Environ Med* 28:23–42
 199. Kay JE (2020) Early climate models successfully predicted global warming. *Nature* 578:45–46
 200. Epstein Y, Yanovich R (2019) Heatstroke. *N Engl J Med* 380:2449–2459
 201. Robine JM, Cheung SL, Le Roy S et al (2008) Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *C R Biol* 331:171–178
 202. Hayashida K, Shimizu K, Yokota H (2019) Severe heatwave in Japan. *Acute Med Surg* 6:206–207
 203. Lipman GS, Gaudio FG, Eifling KP, Ellis MA, Otten EM, Grissom CK (2019) Wilderness medical society clinical practice guidelines for the prevention and treatment of heat illness: 2019 update. *Wilderness Environ Med* 30:S33–S46
 204. Douma MJ, Aves T, Allan KS et al (2020) First aid cooling techniques for heat stroke and exertional hyperthermia: A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 148:173–190
 205. Shapiro Y, Seidman DS (1990) Field and clinical observations of exertional heat stroke patients. *Med Sci Sports Exerc* 22:6–14
 206. McDermott BP, Casa DJ, Ganio MS et al (2009) Acute whole-body cooling for exercise-induced hyperthermia: a systematic review. *J Athl Train* 44:84–93
 207. Hew-Butler T, Rosner MH, Fowkes-Godek S et al (2015) Statement of the 3rd international exercise-associated hyponatremia consensus development conference, Carlsbad, California, 2015. *Br J Sports Med* 49:1432–1446
 208. Bouchama A, Dehbi M, Chaves-Carballo E (2007) Cooling and hemodynamic management in heatstroke: practical recommendations. *Crit Care* 11:R54
 209. Litman RS, Griggs SM, Dowling JJ, Riaz S (2018) Malignant hyperthermia susceptibility and related diseases. *Anesthesiology* 128:159–167
 210. Riaz S, Kraeva N, Hopkins PM (2018) Malignant hyperthermia in the post-genomics era: new perspectives on an old concept. *Anesthesiology* 128:168–180
 211. Hall AP, Henry JA (2006) Acute toxic effects of 'Ecstasy' (MDMA) and related compounds: overview of pathophysiology and clinical management. *Br J Anaesth* 96:678–685
 212. Eshel G, Safar P, Sassano J, Stezoski W (1990) Hyperthermia-induced cardiac arrest in dogs and monkeys. *Resuscitation* 20:129–143
 213. Zeiner A, Holzer M, Sterz F et al (2001) Hyperthermia after cardiac arrest is associated with an unfavorable neurologic outcome. *Arch Intern Med* 161:2007–2012
 214. Konstantinides SV, Meyer G, Becattini C et al (2020) 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS). *Eur Heart J* 41:543–603
 215. Javaudin F, Lascarrou JB, Le Bastard Q et al (2019) Thrombolysis during resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest caused by pulmonary embolism increases 30-day survival: findings from the French national cardiac arrest registry. *Chest* 156:1167–1175
 216. Bottiger BW, Arntz HR, Chamberlain DA et al (2008) Thrombolysis during resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 359:2651–2662
 217. Bergum D, Nordseth T, Mjølstad OC, Skogvoll E, Haugen BO (2015) Causes of in-hospital cardiac arrest—incidences and rate of recognition. *Resuscitation* 87:63–68
 218. Kurkciyan I, Meron G, Sterz F et al (2000) Pulmonary embolism as a cause of cardiac arrest: presentation and outcome. *Arch Intern Med* 160:1529–1535
 219. Pokorna M, Necas E, Skripsky R, Kratochvil J, Andriik M, Franek O (2011) How accurately can the aetiology of cardiac arrest be established in an out-of-hospital setting? Analysis by "concordance

- in diagnosis crosscheck tables". *Resuscitation* 82:391–397
220. Aagaard R, Lofgren B, Caap P, Mygind-Klausen T, Botker MT, Granfeldt A (2018) A low end-tidal CO₂/arterial CO₂ ratio during cardiopulmonary resuscitation suggests pulmonary embolism. *Resuscitation* 133:137–140
 221. Group S-KS, Inokuchi S, Masui Y et al (2016) Investigation and treatment of pulmonary embolism as a potential etiology may be important to improve post-resuscitation prognosis in non-shockable out-of-hospital cardiopulmonary arrest: report on an analysis of the SOS-KANTO 2012 study. *Acute Med Surg* 3:250–259
 222. Heradstveit BE, Sunde K, Sunde GA, Wentzel-Larsen T, Heltne JK (2012) Factors complicating interpretation of capnography during advanced life support in cardiac arrest—a clinical retrospective study in 575 patients. *Resuscitation* 83:813–818
 223. White RH (2003) The epidemiology of venous thromboembolism. *Circulation* 107:14–8
 224. Geibel A, Zehender M, Kasper W, Olschewski M, Klima C, Konstantinides SV (2005) Prognostic value of the ECG on admission in patients with acute major pulmonary embolism. *Eur Respir J* 25:843–848
 225. Bova C, Greco F, Misuraca G et al (2003) Diagnostic utility of echocardiography in patients with suspected pulmonary embolism. *Am J Emerg Med* 21:180–183
 226. Wan S, Quinlan DJ, Agnelli G, Eikelboom JW (2004) Thrombolysis compared with heparin for the initial treatment of pulmonary embolism: a meta-analysis of the randomized controlled trials. *Circulation* 110:744–749
 227. Goldhaber SZ, Haire WD, Feldstein ML et al (1993) Alteplase versus heparin in acute pulmonary embolism: randomised trial assessing right-ventricular function and pulmonary perfusion. *Lancet* 341:507–511
 228. Janata K, Holzer M, Kurkciyan I et al (2003) Major bleeding complications in cardiopulmonary resuscitation: the place of thrombolytic therapy in cardiac arrest due to massive pulmonary embolism. *Resuscitation* 57:49–55
 229. Yousuf T, Brinton T, Ahmed K et al (2016) Tissue plasminogen activator use in cardiac arrest secondary to fulminant pulmonary embolism. *J Clin Med Res* 8:190–195
 230. Böttiger BW, Böhrer H, Bach A, Motsch J, Martin E (1994) Bolus injection of thrombolytic agents during cardiopulmonary resuscitation for massive pulmonary embolism. *Resuscitation* 28:45–54
 231. Wu JP, Gu DY, Wang S, Zhang ZJ, Zhou JC, Zhang RF (2014) Good neurological recovery after rescue thrombolysis of presumed pulmonary embolism despite prior 100 minutes CPR. *J Thorac Dis* 6:E289–E293
 232. Summers K, Schultheis J, Raiff D, Dahhan T (2019) Evaluation of rescue thrombolysis in cardiac arrest secondary to suspected or confirmed pulmonary embolism. *Ann Pharmacother* 53:711–715
 233. Doerge HC, Schoendube FA, Loeser H, Walter M, Messmer BJ (1996) Pulmonary embolectomy: review of a 15-year experience and role in the age of thrombolytic therapy. *Eur J Cardiothorac Surg* 10:952–957
 234. Konstantinovic IE, Saxena P, Koniuszko MD, Alvarez J, Newman MA (2007) Acute massive pulmonary embolism with cardiopulmonary resuscitation: management and results. *Tex Heart Inst J* 34:41–45 (discussion 5–6)
 235. Fava M, Loyola S, Bertoni H, Dougnac A (2005) Massive pulmonary embolism: percutaneous mechanical thrombectomy during cardiopulmonary resuscitation. *J Vasc Interv Radiol* 16:119–123
 236. Conrad SA, Broman LM, Taccone FS et al (2018) The Extracorporeal life support organization Maas-tricht treaty for nomenclature in Extracorporeal life support. A position paper of the extracorporeal life support organization. *Am J Respir Crit Care Med* 198:447–451
 237. Maj G, Melisurgo G, De Bonis M, Pappalardo F (2014) ECLS management in pulmonary embolism with cardiac arrest: which strategy is better? *Resuscitation* 85:e175–e176
 238. Swol J, Buchwald D, Strauch J, Schildhauer TA (2016) Extracorporeal life support (ECLS) for cardiopulmonary resuscitation (CPR) with pulmonary embolism in surgical patients—a case series. *Perfusion* 31:54–59
 239. Soar J, Maconochie I, Wyckoff MH et al (2019) 2019 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations: summary from the basic life support; advanced life support; pediatric life support; neonatal life support; education, implementation, and teams; and first aid task forces. *Circulation* 140:e826–e880
 240. Hayashi M, Shimizu W, Albert CM (2015) The spectrum of epidemiology underlying sudden cardiac death. *Circ Res* 116:1887–1906
 241. Myat A, Song KJ, Rea T (2018) Out-of-hospital cardiac arrest: current concepts. *Lancet* 391:970–979
 242. Myerburg RJ, Junttila MJ (2012) Sudden cardiac death caused by coronary heart disease. *Circulation* 125:1043–1052
 243. Yannopoulos D, Bartos JA, Aufderheide TP et al (2019) The evolving role of the cardiac catheterization laboratory in the management of patients with out-of-hospital cardiac arrest: a scientific statement from the American heart association. *Circulation* 139:e530–e552
 244. Nikolaou NI, Welsford M, Beygui F et al (2015) Part 5: acute coronary syndromes: 2015 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 95:e121–e146
 245. Roffi M, Patrono C, Collet JP et al (2016) 2015 ESC guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation: task force for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation of the European society of cardiology (ESC). *Eur Heart J* 37:267–315
 246. Ibanez B, James S, Agewall S et al (2018) 2017 ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation: The Task Force for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 39:119–177
 247. Piepoli MF, Hoes AW, Agewall S et al (2016) 2016 European guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: the sixth joint task force of the European society of cardiology and other societies on cardiovascular disease prevention in clinical practice (constituted by representatives of 10 societies and by invited experts) developed with the special contribution of the European association for cardiovascular prevention & rehabilitation (EACPR). *Eur Heart J* 37:2315–2381
 248. Noc M, Fajadet J, Lassen JF et al (2014) Invasive coronary treatment strategies for out-of-hospital cardiac arrest: a consensus statement from the European association for percutaneous cardiovascular interventions (EAPCI)/stent for life (SFL) groups. *EuroIntervention* 10:31–37
 249. Kotseva K, De Backer G, De Bacquer D et al (2019) Lifestyle and impact on cardiovascular risk factor control in coronary patients across 27 countries: Results from the European Society of Cardiology ESC-EORP EUROASPIRE V registry. *Eur J Prev Cardiol* 26:824–835
 250. Rauch B, Davos CH, Doherty P et al (2016) The prognostic effect of cardiac rehabilitation in the era of acute revascularisation and statin therapy: A systematic review and meta-analysis of randomized and non-randomized studies—The Cardiac Rehabilitation Outcome Study (CROS). *Eur J Prev Cardiol* 23:1914–1939
 251. Ruano-Ravina A, Pena-Gil C, Abu-Assi E et al (2016) Participation and adherence to cardiac rehabilitation programmes. A systematic review. *Int J Cardiol* 223:436–443
 252. Kotseva K, Wood D, De Bacquer D, investigators E (2018) Determinants of participation and risk factor control according to attendance in cardiac rehabilitation programmes in coronary patients in Europe: EUROASPIRE IV survey. *Eur J Prev Cardiol* 25:1242–1251
 253. Piepoli MF, Corra U, Dendale P et al (2016) Challenges in secondary prevention after acute myocardial infarction: a call for action. *Eur J Prev Cardiol* 23:1994–2006
 254. Priori SG, Blomstrom-Lundqvist C, Mazzanti A et al (2015) 2015 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death: The Task Force for the Management of Patients with Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC). *Eur Heart J* 36:2793–2867
 255. Cartledge S, Bray JE, Leary M, Stub D, Finn J (2016) A systematic review of basic life support training targeted to family members of high-risk cardiac patients. *Resuscitation* 105:70–78
 256. Cartledge S, Finn J, Bray JE et al (2018) Incorporating cardiopulmonary resuscitation training into a cardiac rehabilitation programme: a feasibility study. *Eur J Cardiovasc Nurs* 17:148–158
 257. Gonzalez-Salvado V, Abelairas-Gomez C, Gude F et al (2019) Targeting relatives: Impact of a cardiac rehabilitation programme including basic life support training on their skills and attitudes. *Eur J Prev Cardiol* 26:795–805
 258. Kalla K, Christ G, Karnik R et al (2006) Implementation of guidelines improves the standard of care: the Viennese registry on reperfusion strategies in ST-elevation myocardial infarction (Vienna STEMI registry). *Circulation* 113:2398–2405
 259. Ting HH, Rihal CS, Gersh BJ et al (2007) Regional systems of care to optimize timeliness of reperfusion therapy for ST-elevation myocardial infarction: the Mayo Clinic STEMI Protocol. *Circulation* 116:729–736
 260. Glickman SW, Lytle BL, Ou FS et al (2011) Care processes associated with quicker door-in-door-out times for patients with ST-elevation-myocardial infarction requiring transfer: results from a statewide regionalization program. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 4:382–388
 261. Cequier A, Ariza-Sole A, Elola FJ et al (2017) Impact on mortality of different network systems in the treatment of ST-segment elevation acute

- myocardial infarction. The Spanish experience. *Rev Esp Cardiol* 70:155–161
262. Jollis JG, Al-Khalidi HR, Roettig ML et al (2018) Impact of regionalization of ST-segment-elevation myocardial infarction care on treatment times and outcomes for emergency medical services-transported patients presenting to hospitals with Percutaneous coronary intervention: mission: lifeline accelerator-2. *Circulation* 137:376–387
263. Filgueiras Filho NM, Feitosa Filho GS, Solla DJF et al (2018) Implementation of a regional network for ST-segment-elevation myocardial infarction (STEMI) care and 30-day mortality in a low- to middle-income city in Brazil: findings from Salvador's STEMI registry (RESISST). *J Am Heart Assoc* 7. <https://doi.org/10.1161/JAHA.118.008624>
264. Cequier A, de Prado PA, Moreno R et al (2019) Percutaneous cardiologic intervention and cardiac surgery: patient-centered care. Position statement of the Spanish Society of Cardiology. *Rev Esp Cardiol* 72:658–663
265. Peberdy MA, Donnino MW, Callaway CW et al (2013) Impact of percutaneous coronary intervention performance reporting on cardiac resuscitation centers: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 128:762–773
266. Salam I, Hassager C, Thomsen JH et al (2016) Editor's Choice—Is the pre-hospital ECG after out-of-hospital cardiac arrest accurate for the diagnosis of ST-elevation myocardial infarction? *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care* 5:317–326
267. Zanuttini D, Armellini I, Nucifora G et al (2013) Predictive value of electrocardiogram in diagnosing acute coronary artery lesions among patients with out-of-hospital-cardiac-arrest. *Resuscitation* 84:1250–1254
268. Millin MG, Comer AC, Nable JV et al (2016) Patients without ST elevation after return of spontaneous circulation may benefit from emergent percutaneous intervention: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 108:54–60
269. Barbarawi M, Zayed Y, Kheiri B et al (2019) Optimal timing of coronary intervention in patients resuscitated from cardiac arrest without ST-segment elevation myocardial infarction (NSTEMI): a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 144:137–144
270. Lemkes JS, Janssens GN, van der Hoeven NW et al (2019) Coronary angiography after cardiac arrest without ST-segment elevation. *N Engl J Med* 380:1397–1407
271. Nolan JP (2021) European resuscitation council and European Society of intensive care medicine guidelines for post-resuscitation care 2020. *Resuscitation*. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.012>
272. Wang PL, Brooks SC (2018) Mechanical versus manual chest compressions for cardiac arrest. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD007260.pub4>
273. Holmberg MJ, Geri G, Wiberg S et al (2018) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for cardiac arrest: a systematic review. *Resuscitation* 131:91–100
274. Bougouin W, Dumas F, Lamhaut L et al (2020) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest: a registry study. *Eur Heart J* 41:1961–1971
275. Roberts DJ, Leigh-Smith S, Faris PD et al (2015) Clinical presentation of patients with tension pneumothorax: a systematic review. *Ann Surg* 261:1068–1078
276. Hilbert-Carius P, Wurmb T, Lier H et al (2017) Care for severely injured persons: update of the 2016 S3 guideline for the treatment of polytrauma and the severely injured. *Anaesthesist* 66:195–206
277. Laan DV, Vu TD, Thiels CA et al (2016) Chest wall thickness and decompression failure: a systematic review and meta-analysis comparing anatomic locations in needle thoracostomy. *Injury* 47:797–804
278. Holcomb JB, McManus JG, Kerr ST, Pusateri AE (2009) Needle versus tube thoracostomy in a swine model of traumatic tension hemopneumothorax. *Prehosp Emerg Care* 13:18–27
279. High K, Brywczyński J, Guillaumondegui O (2016) Safety and efficacy of thoracostomy in the air medical environment. *Air Med J* 35:227–230
280. Mowry JB, Spyker DA, Cantilena LR Jr, McMillan N, Ford M (2014) 2013 annual report of the American association of poison control centers' national poison data system (NPDs): 31st annual report. *Clin Toxicol* 52:1032–1283
281. Gummin DD, Mowry JB, Spyker DA et al (2019) 2018 annual report of the American association of poison control centers' national poison data system (NPDs): 36th annual report. *Clin Toxicol* 57:1220–1413
282. Park JH, Shin SD, Song KJ, Park CB, Ro YS, Kwak YH (2012) Epidemiology and outcomes of poisoning-induced out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 83:51–57
283. Safranek DJ, Eisenberg MS, Larsen MP (1992) The epidemiology of cardiac arrest in young adults. *Ann Emerg Med* 21:1102–1106
284. Engdahl J, Bang A, Karlson BW, Lindqvist J, Herlitz J (2003) Characteristics and outcome among patients suffering from out of hospital cardiac arrest of non-cardiac aetiology. *Resuscitation* 57:33–41
285. Hess EP, Campbell RL, White RD (2007) Epidemiology, trends, and outcome of out-of-hospital cardiac arrest of non-cardiac origin. *Resuscitation* 72:200–206
286. Yanagawa Y, Sakamoto T, Okada Y (2007) Recovery from a psychotropic drug overdose tends to depend on the time from ingestion to arrival, the Glasgow Coma Scale, and a sign of circulatory insufficiency on arrival. *Am J Emerg Med* 25:757–761
287. Thompson TM, Theobald J, Lu J, Erickson TB (2014) The general approach to the poisoned patient. *Dis Mon* 60:509–524
288. Kim M, Shin SD, Jeong S, Kwak YH, Suh GJ (2017) Poisoning-induced out-of-hospital cardiac arrest and outcomes according to poison agent. *J Korean Med Sci* 32:2042–2050
289. Gaudins A, Lee HM, Druda D (2016) Calcium channel antagonist and beta-blocker overdose: antidotes and adjunct therapies. *Br J Clin Pharmacol* 81:453–461
290. Gosselin S, Hoegberg LC, Hoffman RS et al (2016) Evidence-based recommendations on the use of intravenous lipid emulsion therapy in poisoning(). *Clin Toxicol* 54:899–923
291. Lam SH, Majlesi N, Vilke GM (2016) Use of intravenous fat emulsion in the emergency department for the critically ill poisoned patient. *J Emerg Med* 51:203–214
292. Cao D, Heard K, Foran M, Koyfman A (2015) Intravenous lipid emulsion in the emergency department: a systematic review of recent literature. *J Emerg Med* 48:387–397
293. de Lange DW, Sikma MA, Meulenbelt J (2013) Extracorporeal membrane oxygenation in the treatment of poisoned patients. *Clin Toxicol* 51:385–393
294. Masson R, Colas V, Parienti JJ et al (2012) A comparison of survival with and without extracorporeal life support treatment for severe poisoning due to drug intoxication. *Resuscitation* 83:1413–1417
295. Benson BE, Hoppu K, Troutman WG et al (2013) Position paper update: gastric lavage for gastrointestinal decontamination. *Clin Toxicol* 51:140–146
296. Seger D (2004) Single-dose activated charcoal-backup and reassess. *J Toxicol Clin Toxicol* 42:101–110
297. Chyka PA, Seger D, Krenzelok EP, Vale JA (2005) Position paper: single-dose activated charcoal. *Clin Toxicol* 43:61–87
298. Thanacoody R, Caravati EM, Troutman B et al (2015) Position paper update: whole bowel irrigation for gastrointestinal decontamination of overdose patients. *Clin Toxicol* 53:5–12
299. Krenzelok EP (2005) Ipecac syrup-induced emesis...no evidence of benefit. *Clin Toxicol* 43:11–12
300. Brahmī N, Kouraichi N, Thabet H, Amamou M (2006) Influence of activated charcoal on the pharmacokinetics and the clinical features of carbamazepine poisoning. *Am J Emerg Med* 24:440–443
301. Skinner CG, Chang AS, Matthews AS, Reedy SJ, Morgan BW (2012) Randomized controlled study on the use of multiple-dose activated charcoal in patients with supratherapeutic phenytoin levels. *Clin Toxicol* 50:764–769
302. Liss DB, Schwarz ES, Mullins ME (2017) Sodium acetate infusion for serum and urine alkalinization. *Ann Emerg Med* 70:601–602
303. Proudfoot AT, Krenzelok EP, Vale JA (2004) Position Paper on urine alkalinization. *J Toxicol Clin Toxicol* 42:1–26
304. Sun X, Chen X, Lu J, Tao Y, Zhang L, Dong L (2019) Extracorporeal treatment in children with acute severe poisoning. *Medicine* 98:e18086
305. Haines JA, Jacobsen D, Meredith T, Pronczuk de Garbino J (1997) International programme on chemical safety—antidotes project. *J Toxicol Clin Toxicol* 35:125–126
306. Betten DP, Vohra RB, Cook MD, Matteucci MJ, Clark RF (2006) Antidote use in the critically ill poisoned patient. *J Intensive Care Med* 21:255–277
307. Forster V, Leroux JC (2015) Nano-antidotes for drug overdose and poisoning. *Sci Transl Med* 7:290ps14.
308. Eddleston M, Rajapakse S, Rajakanthan et al (2000) Anti-digoxin Fab fragments in cardiotoxicity induced by ingestion of yellow oleander: a randomised controlled trial. *Lancet* 355:967–972
309. Lapostolle F, Borron SW, Verdier C et al (2008) Digoxin-specific Fab fragments as single first-line therapy in digitalis poisoning. *Crit Care Med* 36:3014–3018
310. Henry M, Kay MM, Viccellio P (1985) Cardiogenic shock associated with calcium-channel and beta blockers: reversal with intravenous calcium chloride. *Am J Emerg Med* 3:334–336
311. Ramoska EA, Spiller HA, Winter M, Borys D (1993) A one-year evaluation of calcium channel blocker overdoses: toxicity and treatment. *Ann Emerg Med* 22:196–200
312. Howarth DM, Dawson AH, Smith AJ, Buckley N, Whyte IM (1994) Calcium channel blocking drug overdose: an Australian series. *Hum Exp Toxicol* 13:161–166
313. Strubelt O, Diederich KW (1990) Studies of antidote therapy for nisoldipine intoxication

- in experimental animals. *Arzneimittelforschung* 40:747–751
314. Graudins A, Najafi J, Rur SM (2008) Treatment of experimental verapamil poisoning with levosimendan utilizing a rodent model of drug toxicity. *Clin Toxicol* 46:50–56
 315. Graudins A, Wong KK (2010) Comparative hemodynamic effects of levosimendan alone and in conjunction with 4-aminopyridine or calcium chloride in a rodent model of severe verapamil poisoning. *J Med Toxicol* 6:85–93
 316. Greene SL, Gawarammana I, Wood DM, Jones AL, Dargan PI (2007) Relative safety of hyperinsulinaemia/euglycaemia therapy in the management of calcium channel blocker overdose: a prospective observational study. *Intensive Care Med* 33:2019–2024
 317. Yuan TH, Kerns WPI, Tomaszewski CA, Ford MD, Kline JA (1999) Insulin-glucose as adjunctive therapy for severe calcium channel antagonist poisoning. *J Toxicol Clin Toxicol* 37:463–474
 318. Boyer EW, Shannon M (2001) Treatment of calcium-channel-blocker intoxication with insulin infusion. *N Engl J Med* 344:1721–1722
 319. Espinoza TR, Bryant SM, Aks SE (2013) Hyperinsulin therapy for calcium channel antagonist poisoning: a seven-year retrospective study. *Am J Ther* 20:29–31
 320. Kline JA, Leonova E, Raymond RM (1995) Beneficial myocardial metabolic effects of insulin during verapamil toxicity in the anesthetized canine. *Crit Care Med* 23:1251–1263
 321. Kline JA, Raymond RM, Leonova ED, Williams TC, Watts JA (1997) Insulin improves heart function and metabolism during non-ischemic cardiogenic shock in awake canines. *Cardiovasc Res* 34:289–298
 322. Engebretsen KM, Kaczmarek KM, Morgan J, Holger JS (2011) High-dose insulin therapy in beta-blocker and calcium channel-blocker poisoning. *Clin Toxicol* 49:277–283
 323. Graudins A, Lee HM, Druda D (2016) Calcium channel antagonist and beta-blocker overdose: antidotes and adjunct therapies. *Br J Clin Pharmacol* 81:453–461
 324. Holger JS, Stellpflug SJ, Cole JB, Harris CR, Engebretsen KM (2011) High-dose insulin: a consecutive case series in toxin-induced cardiogenic shock. *Clin Toxicol* 49:653–658
 325. McGlinchey PG, McNeill AJ (1998) Drug overdoses requiring temporary cardiac pacing; a study of six cases treated at Altnagelvin Hospital, Londonderry. *Ulster Med J* 67:13–18
 326. Perichon D, Turfus S, Gerostamoulos D, Graudins A (2013) An assessment of the in vivo effects of intravenous lipid emulsion on blood drug concentration and haemodynamics following oro-gastric amitriptyline overdose. *Clin Toxicol* 51:208–215
 327. Escajeda JT, Katz KD, Rittenberger JC (2015) Successful treatment of metoprolol-induced cardiac arrest with high-dose insulin, lipid emulsion, and ECMO. *Am J Emerg Med* 33:1111 e1–1111 e4
 328. Kerns W 2nd, Schroeder D, Williams C, Tomaszewski C, Raymond R (1997) Insulin improves survival in a canine model of acute beta-blocker toxicity. *Ann Emerg Med* 29:748–757
 329. Cole JB, Arens AM, Laes JR et al (2018) High dose insulin for beta-blocker and calcium channel-blocker poisoning. *Am J Emerg Med* 36:1817–1824
 330. Fernandes CM, Daya MR (1995) Sotalol-induced bradycardia reversed by glucagon. *Can Fam Physician* 41:659–660, 63–5.
 331. Bailey B (2003) Glucagon in beta-blocker and calcium channel blocker overdoses: a systematic review. *J Toxicol Clin Toxicol* 41:595–602
 332. West PL, McKeown NJ, Hendrickson RG (2010) Iatrogenic lipid emulsion overdose in a case of amlodipine poisoning. *Clin Toxicol* 48:393–396
 333. Kollef MH (1994) Labetalol overdose successfully treated with amrinone and alpha-adrenergic receptor agonists. *Chest* 105:626–627
 334. Sasyniuk BI, Jhamandas V, Valois M (1986) Experimental amitriptyline intoxication: treatment of cardiac toxicity with sodium bicarbonate. *Ann Emerg Med* 15:1052–1059
 335. Knudsen K, Abrahamson J (1997) Epinephrine and sodium bicarbonate independently and additively increase survival in experimental amitriptyline poisoning. *Crit Care Med* 25:669–674
 336. Bradberry SM, Thanacoody HK, Watt BE, Thomas SH, Vale JA (2005) Management of the cardiovascular complications of tricyclic antidepressant poisoning: role of sodium bicarbonate. *Toxicol Rev* 24:195–204
 337. Gunja N, Graudins A (2011) Management of cardiac arrest following poisoning. *Emerg Med Australas* 23:16–22
 338. Boehnert MT, Lovejoy FH Jr. (1985) Value of the QRS duration versus the serum drug level in predicting seizures and ventricular arrhythmias after an acute overdose of tricyclic antidepressants. *N Engl J Med* 313:474–479
 339. Bou-Abboud E, Nattel S (1996) Relative role of alkalosis and sodium ions in reversal of class I antiarrhythmic drug-induced sodium channel blockade by sodium bicarbonate. *Circulation* 94:1954–1961
 340. McCabe JL, Cobaugh DJ, Menegazzi JJ, Fata J (1998) Experimental tricyclic antidepressant toxicity: a randomized, controlled comparison of hypertonic saline solution, sodium bicarbonate, and hyperventilation. *Ann Emerg Med* 32:329–333
 341. Gosselin S, Hoegberg LC, Hoffman RS et al (2016) Evidence-based recommendations on the use of intravenous lipid emulsion therapy in poisoning(). *Clin Toxicol* 54:899–923
 342. Kasnavieh F et al (2013) Intravenous lipid emulsion for the treatment of tricyclic antidepressant toxicity: a randomized controlled trial. In: *Vllth Mediterranean Emergency Medicine Congress Vllth Mediterranean Emergency Medicine Congress, Marseille*
 343. Pileggi DJ, Cook AM (2016) Neuroleptic malignant syndrome. *Ann Pharmacother* 50:973–981
 344. Barelli A, Botti P, Puppa DT (2010) TBST (toxicological basic support and therapy). IRC Edizioni, Bologna
 345. Roberge RJ, Francis EH 3rd (2002) Use of naloxone in valproic acid overdose: case report and review. *J Emerg Med* 22:67–70
 346. Sztajnkrzyer MD (2002) Valproic acid toxicity: overview and management. *J Toxicol Clin Toxicol* 40:789–801
 347. Ghannoum M, Yates C, Galvao TF et al (2014) Extracorporeal treatment for carbamazepine poisoning: systematic review and recommendations from the EXTRIP workgroup. *Clin Toxicol* 52:993–1004
 348. Sivilotti ML (2016) Flumazenil, naloxone and the 'coma cocktail'. *Br J Clin Pharmacol* 81:428–436
 349. Penninga EI, Graudal N, Ladekarl MB, Jurgens G (2016) Adverse events associated with flumazenil treatment for the management of suspected benzodiazepine intoxication—a systematic review with Meta-analyses of Randomised trials. *Basic Clin Pharmacol Toxicol* 118:37–44
 350. Hiller DB, Gregorio GD, Ripper R et al (2009) Epinephrine impairs lipid resuscitation from bupivacaine overdose: a threshold effect. *Anesthesiology* 111:498–505
 351. Carreiro S, Blum J, Jay G, Hack JB (2013) Intravenous lipid emulsion alters the hemodynamic response to epinephrine in a rat model. *J Med Toxicol* 9:220–225
 352. Litz RJ, Popp M, Stehr SN, Koch T (2006) Successful resuscitation of a patient with ropivacaine-induced asystole after axillary plexus block using lipid infusion. *Anaesthesia* 61:800–801
 353. Rosenblatt MA, Abel M, Fischer GW, Itzkovich CJ, Eisenkraft JB (2006) Successful use of a 20% lipid emulsion to resuscitate a patient after a presumed bupivacaine-related cardiac arrest. *Anesthesiology* 105:217–218
 354. Ludot H, Tharin JY, Belouadah M, Mazoit JX, Malinovsky JM (2008) Successful resuscitation after ropivacaine and lidocaine-induced ventricular arrhythmia following posterior lumbar plexus block in a child. *Anesth Analg* 106:1572–1574 (table of contents)
 355. American College of Medical Toxicology (2011) ACMT position statement: interim guidance for the use of lipid resuscitation therapy. *J Med Toxicol* 7:81–82
 356. Hicks SD, Salcido DD, Logue ES et al (2009) Lipid emulsion combined with epinephrine and vasopressin does not improve survival in a swine model of bupivacaine-induced cardiac arrest. *Anesthesiology* 111:138–146
 357. Chou R, Korthuis PT, McCarty D et al (2017) Management of suspected opioid overdose with naloxone in out-of-hospital settings: a systematic review. *Ann Intern Med* 167:867–875
 358. Gufford BT, Ainslie GR, White JR Jr. et al (2017) Comparison of a new intranasal naloxone formulation to intramuscular naloxone: results from hypothesis-generating small clinical studies. *Clin Transl Sci* 10:380–386
 359. Honderick T, Williams D, Seaberg D, Wears R (2003) A prospective, randomized, controlled trial of benzodiazepines and nitroglycerine or nitroglycerine alone in the treatment of cocaine-associated acute coronary syndromes. *Am J Emerg Med* 21:39–42
 360. Saland KE, Hillis LD, Lange RA, Cigarroa JE (2002) Influence of morphine sulfate on cocaine-induced coronary vasoconstriction. *Am J Cardiol* 90:810–811
 361. Lange RA, Cigarroa RG, Yancy CW Jr. et al (1989) Cocaine-induced coronary-artery vasoconstriction. *N Engl J Med* 321:1557–1562
 362. Negus BH, Willard JE, Hillis LD et al (1994) Alleviation of cocaine-induced coronary vasoconstriction with intravenous verapamil. *Am J Cardiol* 73:510–513
 363. Baumann BM, Perrone J, Hornig SE, Shofer FS, Hollander JE (2000) Randomized, double-blind, placebo-controlled trial of diazepam, nitroglycerin, or both for treatment of patients with potential cocaine-associated acute coronary syndromes. *Acad Emerg Med* 7:878–885
 364. Hollander JE, Hoffman RS, Gennis P et al (1994) Nitroglycerin in the treatment of cocaine-associated chest pain—clinical safety and efficacy. *J Toxicol Clin Toxicol* 32:243–256
 365. Pham D, Addison D, Kayani W et al (2018) Outcomes of beta blocker use in cocaine-associated chest pain: a meta-analysis. *Emerg Med Clin North Am* 35:559–563

366. Richards JR, Garber D, Laurin EG et al (2016) Treatment of cocaine cardiovascular toxicity: a systematic review. *Clin Toxicol* 54:345–364
367. King A, Dimovska M, Bisoski L (2018) Sympathomimetic toxidromes and other pharmacological causes of acute hypertension. *Curr Hypertens Rep.* <https://doi.org/10.1007/s11906-018-0807-9>
368. Graudins A, Stearman A, Chan B (1998) Treatment of the serotonin syndrome with cyproheptadine. *J Emerg Med* 16:615–619
369. Mason PJ, Morris VA, Balcezak TJ (2000) Serotonin syndrome. Presentation of 2 cases and review of the literature. *Medicine* 79:201–209
370. Gillman PK (1997) Serotonin syndrome treated with chlorpromazine. *J Clin Psychopharmacol* 17:128–129
371. Richelson E, Souder T (2000) Binding of antipsychotic drugs to human brain receptors focus on newer generation compounds. *Life Sci* 68:29–39
372. Fortin JL, Desmetre T, Manzoni C et al (2010) Cyanide poisoning and cardiac disorders: 161 cases. *J Emerg Med* 38:467–476
373. Bebarta VS, Tanen DA, Lairet J et al (2010) Hydroxocobalamin and sodium thiosulfate versus sodium nitrite and sodium thiosulfate in the treatment of acute cyanide toxicity in a swine (*Sus scrofa*) model. *Ann Emerg Med* 55:345–351
374. MacLennan L, Moiemien N (2015) Management of cyanide toxicity in patients with burns. *Burns* 41:18–24
375. Hall AH, Kulig KW, Rumack BH (1989) Suspected cyanide poisoning in smoke inhalation: complications of sodium nitrite therapy. *J Toxicol Clin Exp* 9:3–9
376. Kirk MA, Gerace R, Kulig KW (1993) Cyanide and methemoglobin kinetics in smoke inhalation victims treated with the cyanide antidote kit. *Ann Emerg Med* 22:1413–1418
377. Weaver LK (2009) Clinical practice. Carbon monoxide poisoning. *N Engl J Med* 360:1217–1225
378. Betterman K, Patel S (2014) Neurologic complications of carbon monoxide intoxication. *Handb Clin Neurol* 120:971–979
379. Lin CH, Su WH, Chen YC et al (2018) Treatment with normobaric or hyperbaric oxygen and its effect on neuropsychometric dysfunction after carbon monoxide poisoning: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Medicine* 97:e12456
380. Buckley NA, Juurlink DN, Isbister G, Bennett MH, Lavonas EJ (2011) Hyperbaric oxygen for carbon monoxide poisoning. *Cochrane Database Syst Rev.* <https://doi.org/10.1002/14651858.CD002041.pub3>
381. Dries DJ,ENDORF FW (2013) Inhalation injury: epidemiology, pathology, treatment strategies. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 21:31
382. Roderique JD, Josef CS, Feldman MJ, Spiess BD (2015) A modern literature review of carbon monoxide poisoning theories, therapies, and potential targets for therapy advancement. *Toxicology* 334:45–58
383. Hoidal CR, Hall AH, Robinson MD, Kulig K, Rumack BH (1986) Hydrogen sulfide poisoning from toxic inhalations of roofing asphalt fumes. *Ann Emerg Med* 15:826–830
384. Hall AH, Rumack BH (1997) Hydrogen sulfide poisoning: an antidotal role for sodium nitrite? *Vet Hum Toxicol* 39:152–154
385. Cronican AA, Frawley KL, Ahmed H, Pearce LL, Peterson J (2015) Antagonism of acute sulfide poisoning in mice by nitrite anion without methemoglobinemia. *Chem Res Toxicol* 28:1398–1408
386. Bebarta VS, Garrett N, Brenner M et al (2017) Efficacy of intravenous cobinamide versus hydroxocobalamin or saline for treatment of severe hydrogen sulfide toxicity in a swine (*Sus scrofa*) model. *Acad Emerg Med* 24:1088–1098
387. Rumbelha W, Whitley E, Anantharam P, Kim DS, Kanthasamy A (2016) Acute hydrogen sulfide-induced neuropathology and neurological sequelae: challenges for translational neuroprotective research. *Ann NY Acad Sci* 1378:5–16
388. Rendell R, Fairhall S, Graham S et al (2018) Assessment of N-acetylcysteine as a therapy for phosgene-induced acute lung injury. *Toxicol Lett* 290:145–152
389. Tormoehlen LM, Tekulve KJ, Nanagas KA (2014) Hydrocarbon toxicity: a review. *Clin Toxicol* 52:479–489
390. Dell'Aglio DM, Sutter ME, Schwartz MD et al (2010) Acute chloroform ingestion successfully treated with intravenously administered N-acetylcysteine. *J Med Toxicol* 6:143–146
391. Robinson RF, Nahata MC (2003) Management of botulism. *Ann Pharmacother* 37:127–131
392. Sobel J (2009) Diagnosis and treatment of botulism: a century later, clinical suspicion remains the cornerstone. *Clin Infect Dis* 48:1674–1675
393. Gerardo CJ, Quackenbush E, Lewis B et al (2017) The efficacy of crotalidae polyvalent immune fab (ovine) antivenom versus placebo plus optional rescue therapy on recovery from copperhead snake envenomation: a randomized, double-blind, placebo-controlled, clinical trial. *Ann Emerg Med* 70:233–244e3
394. Currie BJ, Jacups SP (2005) Prospective study of Chironex fleckeri and other box jellyfish stings in the “top end” of Australia’s northern territory. *Med J Aust* 183:631–636
395. Hinkelbein J, Andres J, Thies KC, Robertis EDE (2017) Perioperative cardiac arrest in the operating room environment: a review of the literature. *Minerva Anesthesiol* 83:1190–1198
396. Hur M, Lee HC, Lee KH, Kim JT, Jung CW, Park HP (2017) The incidence and characteristics of 3-month mortality after intraoperative cardiac arrest in adults. *Acta Anaesthesiol Scand* 61:1095–1104
397. Zuercher M, Ummenhofer W (2008) Cardiac arrest during anesthesia. *Curr Opin Crit Care* 14:269–274
398. Kaiser HA, Saied NN, Kokoefer AS, Saffour L, Zoller JK, Helwani MA (2020) Incidence and prediction of intraoperative and postoperative cardiac arrest requiring cardiopulmonary resuscitation and 30-day mortality in non-cardiac surgical patients. *PLoS ONE* 15:e225939
399. Andres J, Hinkelbein J, Bottiger BW (2013) The stepchild of emergency medicine: sudden unexpected cardiac arrest during anaesthesia—do we need anaesthesia-centred Advanced Life Support guidelines? *Eur J Anaesthesiol* 30:95–96
400. Moitra VK, Gabrielli A, Maccioli GA, O’Connor MF (2012) Anesthesia advanced circulatory life support. *Can J Anaesth* 59:586–603
401. Moitra VK, Einav S, Thies KC et al (2018) Cardiac arrest in the operating room: resuscitation and management for the anesthesiologist: part 1. *Anesth Analg* 126:876–888
402. Brown J, Rogers J, Soar J (2001) Cardiac arrest during surgery and ventilation in the prone position: a case report and systematic review. *Resuscitation* 50:233–238
403. Atkinson MC (2000) The efficacy of cardiopulmonary resuscitation in the prone position. *Crit Care Resusc* 2:188–190
404. Mertes PM, Tajima K, Regnier-Kimmoun MA et al (2010) Perioperative anaphylaxis. *Med Clin North Am* 94:761–789, xi
405. Wolfe JW, Butterworth JF (2011) Local anesthetic systemic toxicity: update on mechanisms and treatment. *Curr Opin Anaesthesiol* 24:561–566
406. Waring WS (2012) Intravenous lipid administration for drug-induced toxicity: a critical review of the existing data. *Expert Rev Clin Pharmacol* 5:437–444
407. Neal JM, Mulroy MF, Weinberg GL, American Society of Regional A, Pain M (2012) American Society of Regional Anesthesia and Pain Medicine checklist for managing local anesthetic systemic toxicity: 2012 version. *Reg Anesth Pain Med* 37:16–18
408. Cave G, Harvey MG (2014) Should we consider the infusion of lipid emulsion in the resuscitation of poisoned patients? *Crit Care* 18:457
409. Ozcan MS, Weinberg G (2014) Intravenous lipid emulsion for the treatment of drug toxicity. *J Intensive Care Med* 29:59–70
410. Meaney PA, Bobrow BJ, Mancini ME et al (2013) Cardiopulmonary resuscitation quality: improving cardiac resuscitation outcomes both inside and outside the hospital: a consensus statement from the American Heart Association. *Circulation* 128:417–435
411. Cingi EC, McMahon LA, Prielipp RC (2016) Novel resuscitation devices facilitate complete neurologic recovery after prolonged cardiac arrest in postanesthesia care unit. *J Clin Anesth* 35:530–535
412. Adam Z, Adam S, Everngam RL et al (2009) Resuscitation after cardiac surgery: results of an international survey. *Eur J Cardiothorac Surg* 36:29–34
413. LaPar DJ, Ghanta RK, Kern JA et al (2014) Hospital variation in mortality from cardiac arrest after cardiac surgery: an opportunity for improvement? *Ann Thorac Surg* 98:534–539 (discussion 9–40)
414. Vakil K, Kealhofer JV, Alraies MC et al (2016) Long-term outcomes of patients who had cardiac arrest after cardiac operations. *Ann Thorac Surg* 102:512–517
415. Gupta P, Rettiganti M, Jeffries HE et al (2016) Risk factors and outcomes of in-hospital cardiac arrest following pediatric heart operations of varying complexity. *Resuscitation* 105:1–7
416. Soar J, Donnino MW, Maconochie I et al (2018) 2018 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations summary. *Resuscitation* 133:194–206
417. Clark SC, Dunning J, Alferi OR et al (2012) EACTS guidelines for the use of patient safety checklists. *Eur J Cardiothorac Surg* 41:993–1004
418. Dunning J, Fabbri A, Kolh PH et al (2009) Guideline for resuscitation in cardiac arrest after cardiac surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 36:3–28
419. Society of Thoracic Surgeons Task Force on Resuscitation After Cardiac S (2017) The society of thoracic surgeons expert consensus for the resuscitation of patients who arrest after cardiac surgery. *Ann Thorac Surg* 103:1005–1020
420. Dunning J, Nandi J, Ariffin S, Jerstice J, Danitsch D, Levine A (2006) The cardiac surgery advanced life support course (CALS): delivering significant improvements in emergency cardiothoracic care. *Ann Thorac Surg* 81:1767–1772
421. Haynes AB, Weiser TG, Berry WR et al (2009) A surgical safety checklist to reduce morbidity and mortality in a global population. *N Engl J Med* 360:491–499

422. Lomivorotov VV, Efremov SM, Kirov MY, Fominskiy EV, Karaskov AM (2017) Low-cardiac-output syndrome after cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 31:291–308
423. Pagano D, Milojevic M, Meesters MI et al (2018) 2017 EACTS/EACTA Guidelines on patient blood management for adult cardiac surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 53:79–111
424. Flachskampf FA, Wouters PF, Edvardsen T et al (2014) Recommendations for transoesophageal echocardiography: EACVI update 2014. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 15:353–365
425. Peretto G, Durante A, Limite LR, Cianflone D (2014) Postoperative arrhythmias after cardiac surgery: incidence, risk factors, and therapeutic management. *Cardiol Res Pract* 2014:615987
426. Lockowandt U, Levine A, Strang T, Dunning J (2008) If a patient arrests after cardiac surgery is it acceptable to delay cardiopulmonary resuscitation until you have attempted either defibrillation or pacing? *Interact CardioVasc Thorac Surg* 7:878–885
427. Richardson L, Dissanayake A, Dunning J (2007) What cardioversion protocol for ventricular fibrillation should be followed for patients who arrest shortly post-cardiac surgery? *Interact CardioVasc Thorac Surg* 6:799–805
428. 2005 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science with Treatment Recommendations. Part 4: Advanced life support. *Resuscitation* 2005;67:213–47.
429. Twomey D, Das M, Subramanian H, Dunning J (2008) Is internal massage superior to external massage for patients suffering a cardiac arrest after cardiac surgery? *Interact CardioVasc Thorac Surg* 7:151–156
430. Tsagakaki M, Levine A, Strang T, Dunning J (2008) Should adrenaline be routinely used by the resuscitation team if a patient suffers a cardiac arrest shortly after cardiac surgery? *Interact CardioVasc Thorac Surg* 7:457–462
431. Holmberg MJ, Issa MS, Moskowitz A et al (2019) Vasopressors during adult cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 139:106–121
432. Charalambous CP, Ziptits CS, Keenan DJ (2006) Chest reexploration in the intensive care unit after cardiac surgery: a safe alternative to returning to the operating theater. *Ann Thorac Surg* 81:191–194
433. Mackay JH, Powell SJ, Osgathorp J, Rozario CJ (2002) Six-year prospective audit of chest reopening after cardiac arrest. *Eur J Cardiothorac Surg* 22:421–425
434. Zhao Y, Xing J, Du Z, Liu F, Jia M, Hou X (2015) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for adult patients who underwent post-cardiac surgery. *Eur J Med Res* 20:83
435. Addala S, Kahn JK, Moccia TF et al (2005) Outcome of ventricular fibrillation developing during percutaneous coronary interventions in 19,497 patients without cardiogenic shock. *Am J Cardiol* 96:764–765
436. Mehta RH, Starr AZ, Lopes RD et al (2009) Incidence of and outcomes associated with ventricular tachycardia or fibrillation in patients undergoing primary percutaneous coronary intervention. *JAMA* 301:1779–1789
437. Finn JC, Bhanji F, Lockey A et al (2015) Part 8: Education, implementation, and teams: 2015 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science with Treatment Recommendations. *Resuscitation* 95:e203–e224
438. Olasveengen TM, de Caen AR, Mancini ME et al (2017) 2017 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations summary. *Resuscitation* 121:201–214
439. Naidu SS, Aronow HD, Box LC et al (2016) SCAI expert consensus statement: 2016 best practices in the cardiac catheterization laboratory: (Endorsed by the cardiological society of india, and sociedadad Latino Americana de Cardiologia intervencionista; Affirmation of value by the Canadian Association of interventional cardiology-Association canadienne de cardiologie d'intervention). *Cathet Cardiovasc Intervent* 88:407–423
440. Abrams D, Garan AR, Abdelbary A et al (2018) Position paper for the organization of ECMO programs for cardiac failure in adults. *Intensive Care Med* 44:717–729
441. Van de Walle S, Lerman A, Chevalier B et al (2008) Constructing a checklist for the prevention of complications during percutaneous coronary intervention. *EuroIntervention* 4:189–192
442. Cahill TJ, Clarke SC, Simpson IA, Stables RH (2015) A patient safety checklist for the cardiac catheterisation laboratory. *Heart* 101:91–93
443. Lindsay AC, Bishop J, Harron K, Davies S, Haxby E (2018) Use of a safe procedure checklist in the cardiac catheterisation laboratory. *BMJ Open Qual* 7:e74
444. Clattenburg EJ, Wroe PC, Gardner K et al (2018) Implementation of the Cardiac Arrest Sonographic Assessment (CASA) protocol for patients with cardiac arrest is associated with shorter CPR pulse checks. *Resuscitation* 131:69–73
445. Lien WC, Hsu SH, Chong KM et al (2018) US-CAB protocol for ultrasonographic evaluation during cardiopulmonary resuscitation: validation and potential impact. *Resuscitation* 127:125–131
446. Huis In 't Veld MA, Allison MG, Bostick DS et al (2017) Ultrasound use during cardiopulmonary resuscitation is associated with delays in chest compressions. *Resuscitation* 119:95–98
447. Parker BK, Salerno A, Euerle BD (2019) The use of transesophageal echocardiography during cardiac arrest resuscitation: a literature review. *J Ultrasound Med* 38:1141–1151
448. Fair J, Mallin M, Mallema H et al (2018) Transesophageal echocardiography: guidelines for point-of-care applications in cardiac arrest resuscitation. *Ann Emerg Med* 71:201–207
449. Vase H, Christensen S, Christiansen A et al (2017) The Impella CP device for acute mechanical circulatory support in refractory cardiac arrest. *Resuscitation* 112:70–74
450. Garcia-Carreno J, Sousa-Casasnovas I, Devesa-Cordero C, Gutierrez-Ibanes E, Fernandez-Aviles F, Martinez-Selles M (2019) Cardiopulmonary resuscitation with percutaneous ECMO in refractory in-hospital cardiac arrest: a single-center experience. *Rev Esp Cardiol* 72:880–882
451. Arlt M, Philipp A, Voelkel S et al (2012) Early experiences with miniaturized extracorporeal life-support in the catheterization laboratory. *Eur J Cardiothorac Surg* 42:858–863
452. Guglin M, Zucker MJ, Bazan VM et al (2019) Venous arterial ECMO for adults: JACC scientific expert panel. *J Am Coll Cardiol* 73:698–716
453. D'Arrigo S, Cacciola S, Dennis M et al (2017) Predictors of favourable outcome after in-hospital cardiac arrest treated with extracorporeal cardiopulmonary resuscitation: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 121:62–70
454. Makar MS, Pun PH (2017) Sudden cardiac death among hemodialysis patients. *Am J Kidney Dis* 69:684–695
455. Karnik JA, Young BS, Lew NL et al (2001) Cardiac arrest and sudden death in dialysis units. *Kidney Int* 60:350–357
456. Davis TR, Young BA, Eisenberg MS, Rea TD, Copass MK, Cobb LA (2008) Outcome of cardiac arrests attended by emergency medical services staff at community outpatient dialysis centers. *Kidney Int* 73:933–939
457. Lafrance JP, Nolin L, Senecal L, Leblanc M (2006) Predictors and outcome of cardiopulmonary resuscitation (CPR) calls in a large haemodialysis unit over a seven-year period. *Nephrol Dial Transplant* 21:1006–1012
458. Bleyer AJ, Hartman J, Brannon PC, Reeves-Daniel A, Satko SG, Russell G (2006) Characteristics of sudden death in hemodialysis patients. *Kidney Int* 69:2268–2273
459. Pun PH, Lehrich RW, Honeycutt EF, Herzog CA, Middleton JP (2011) Modifiable risk factors associated with sudden cardiac arrest within hemodialysis clinics. *Kidney Int* 79:218–227
460. Starks MA, Wu J, Peterson ED et al (2020) In-hospital cardiac arrest resuscitation practices and outcomes in maintenance dialysis patients. *Clin J Am Soc Nephrol* 15:219–227
461. Bander SJ, Walters BA (1998) Hemodialysis morbidity and mortality: links to patient non-compliance. *Curr Opin Nephrol Hypertens* 7:649–653
462. Kovacs CP, Regidor DL, Mehrotra R et al (2007) Serum and dialysate potassium concentrations and survival in hemodialysis patients. *Clin J Am Soc Nephrol* 2:999–1007
463. Foley RN, Gilbertson DT, Murray T, Collins AJ (2011) Long interdialytic interval and mortality among patients receiving hemodialysis. *N Engl J Med* 365:1099–1107
464. Moss AH, Holley JL, Upton MB (1992) Outcomes of cardiopulmonary resuscitation in dialysis patients. *J Am Soc Nephrol* 3:1238–1243
465. Wong SP, Kreuter W, Curtis JR, Hall YN, O'Hare AM (2015) Trends in in-hospital cardiopulmonary resuscitation and survival in adults receiving maintenance dialysis. *JAMA Intern Med* 175:1028–1035
466. Saeed F, Adil MM, Malik AA, Schold JD, Holley JL (2015) Outcomes of in-hospital cardiopulmonary resuscitation in maintenance dialysis patients. *J Am Soc Nephrol* 26:3093–3101
467. Jadoul M, Thumma J, Fuller DS et al (2012) Modifiable practices associated with sudden death among hemodialysis patients in the Dialysis Outcomes and Practice Patterns Study. *Clin J Am Soc Nephrol* 7:765–774
468. Lehrich RW, Pun PH, Tanenbaum ND, Smith SR, Middleton JP (2007) Automated external defibrillators and survival from cardiac arrest in the outpatient hemodialysis clinic. *J Am Soc Nephrol* 18:312–320
469. Muller MP, Hansel M, Stehr SN, Weber S, Koch T (2008) A state-wide survey of medical emergency management in dental practices: incidence of emergencies and training experience. *Emerg Med Clin North Am* 25:296–300
470. Arsati F, Montalli VA, Florio FM et al (2010) Brazilian dentists' attitudes about medical emergencies during dental treatment. *J Dent Educ* 74:661–666
471. Girdler NM, Smith DG (1999) Prevalence of emergency events in British dental practice and emergency management skills of British dentists. *Resuscitation* 41:159–167

472. Chapman PJ, Penkeyman HW (2002) Successful defibrillation of a dental patient in cardiac arrest. *Aust Dent J* 47:176–177
473. Absi EG (1987) A cardiac arrest in the dental chair. *Br Dent J* 163:199–200
474. Yokoyama T, Yoshida K, Suwa K (2008) Efficacy of external cardiac compression in a dental chair. *Resuscitation* 79:175–176
475. Fujino H, Yokoyama T, Yoshida K, Suwa K (2010) Using a stool for stabilization of a dental chair when CPR is required. *Resuscitation* 81:502
476. Laurent F, Segal N, Augustin P (2010) Chest compression: not as effective on dental chair as on the floor. *Resuscitation* 81:1729 (author reply 30)
477. Lepere AJ, Finn J, Jacobs I (2003) Efficacy of cardiopulmonary resuscitation performed in a dental chair. *Aust Dent J* 48:244–247
478. Meechan JG, Skelly AM (1997) Problems complicating dental treatment with local anaesthesia or sedation: prevention and management. *Dent Update* 24:278–283
479. Jowett NI, Cabot LB (2000) Patients with cardiac disease: considerations for the dental practitioner. *Br Dent J* 189:297–302
480. Awata N, Hitosugi T, Miki Y, Tsukamoto M, Kawakubo Y, Yokoyama T (2019) Usefulness of a stool to stabilize dental chairs for cardiopulmonary resuscitation (CPR). *BMC Emerg Med* 19:46
481. Handley AJ, Handley JA (2004) Performing chest compressions in a confined space. *Resuscitation* 61:55–61
482. Perkins GD, Stephenson BT, Smith CM, Gao F (2004) A comparison between over-the-head and standard cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 61:155–161
483. Rosenberg M (2010) Preparing for medical emergencies: the essential drugs and equipment for the dental office. *J Am Dent Assoc* 141(Suppl 1):145–195
484. Laurent F, Augustin P, Zak C, Maman L, Segal N (2011) Preparedness of dental practices to treat cardiac arrest: availability of defibrillators. *Resuscitation* 82:1468–1469
485. Kandray DP, Pieren JA, Benner RW (2007) Attitudes of Ohio dentists and dental hygienists on the use of automated external defibrillators. *J Dent Educ* 71:480–486
486. Breuer G, Knipfer C, Huber T et al (2016) Competency in managing cardiac arrest: A scenario-based evaluation of dental students. *Acta Odontol Scand* 74:241–249
487. Chapman PJ (1995) A questionnaire survey of dentists regarding knowledge and perceived competence in resuscitation and occurrence of resuscitation emergencies. *Aust Dent J* 40:98–103
488. Atherton GJ, Pemberton MN, Thornhill MH (2000) Medical emergencies: the experience of staff of a UK dental teaching hospital. *Br Dent J* 188:320–324
489. Association International Air Transport (2016) http://www.iata.org/pressroom/fact_figures/fact_sheets/Documents/fact-sheet-industry-facts.pdf. Zugegriffen: 20. Juli 2020
490. Graf J, Stuben U, Pump S (2012) In-flight medical emergencies. *Dtsch Arztebl Int* 109:591–601 (quiz 2)
491. Hinkelbein J (2015) Significant more research required: no further progress without sound medical data and valid denominators for in-flight medical emergencies. *J Travel Med* 22:355–356
492. Hinkelbein J, Neuhaus C, Wetsch WA et al (2014) Emergency medical equipment on board German airliners. *J Travel Med* 21:318–323
493. Peterson DC, Martin-Gill C, Guyette FX et al (2013) Outcomes of medical emergencies on commercial airline flights. *N Engl J Med* 368:2075–2083
494. Hinkelbein J, Neuhaus C (2019) In-flight cardiac arrest and in-flight cardiopulmonary resuscitation during commercial air travel: consensus statement and supplementary treatment guideline from the German society of aerospace medicine (DGLRM): reply. *Intern Emerg Med* 14:629–630
495. Charles RA (2011) Cardiac arrest in the skies. *Singapore Med J* 52:582–585
496. Hinkelbein J, Bohm L, Braunecker S et al (2018) In-flight cardiac arrest and in-flight cardiopulmonary resuscitation during commercial air travel: consensus statement and supplementary treatment guideline from the German Society of Aerospace Medicine (DGLRM). *Intern Emerg Med* 13:1305–1322
497. Mahony PH, Griffiths RF, Larsen P, Powell D (2008) Retention of knowledge and skills in first aid and resuscitation by airline cabin crew. *Resuscitation* 76:413–418
498. Brown AM, Rittenberger JC, Ammon CM, Harrington S, Guyette FX (2010) In-flight automated external defibrillator use and consultation patterns. *Prehosp Emerg Care* 14:235–239
499. Skogvoll E, Bjelland E, Thorarinnsson B (2000) Helicopter emergency medical service in out-of-hospital cardiac arrest—a 10-year population-based study. *Acta Anaesthesiol Scand* 44:972–979
500. Lyon RM, Nelson MJ (2013) Helicopter emergency medical services (HEMS) response to out-of-hospital cardiac arrest. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 21:1
501. Hinkelbein J, Schmitz J, Glaser E (2019) Pressure but not the fraction of oxygen is altered in the aircraft cabin. *Anaesth Intensive Care* 47:209
502. Verjee MA, Crone R, Ostrovskiy G (2018) Medical issues in flight and updating the emergency medical kit. *Open Access Emerg Med* 10:47–51
503. Rauch S, Strapazon G, Brodmann M et al (2018) Implementation of a mechanical CPR device in a physician staffed HEMS—a prospective observational study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 26:36
504. McIntosh SE, Swanson ER, McKeone A, Barton ED (2008) Location of airway management in air medical transport. *Prehosp Emerg Care* 12:438–442
505. Das A, Majumdar S, Mukherjee A et al (2014) i-gel in ambulatory surgery: a comparison with LMA-proseal in paralyzed anaesthetized patients. *J Clin Diagn Res* 8:80–84
506. Ley SJ (2015) Standards for resuscitation after cardiac surgery. *Crit Care Nurse* 35:30–37 (quiz 8.)
507. Paal P, Ellerton J, Sumann G et al (2007) Basic life support ventilation in mountain rescue. Official recommendations of the International Commission for Mountain Emergency Medicine (ICAR MEDCOM). *High Alt Med Biol* 8:147–154
508. Elsensohn F, Soterias I, Resiten O, Ellerton J, Brugger H, Paal P (2011) Equipment of medical backpacks in mountain rescue. *High Alt Med Biol* 12:343–347
509. Doan TN, Schultz BV, Rashford S, Bosley E (2020) Surviving out-of-hospital cardiac arrest: the important role of bystander interventions. *Australas Emerg Care* 23:47–54
510. Carron M, Emeyriat N, Levraut J, Blondeau N (2018) Cruise ship pathologies in remote regions. *Int Marit Health* 69:75–83
511. Alves PM, Leigh R, Bartos G, Mody R, Gholson L, Nerwich N (2010) Cardiovascular events on board commercial maritime vessels: a two-year review. *Int Marit Health* 62:137–142
512. Marijon E, Bougouin W, Karam N et al (2015) Survival from sports-related sudden cardiac arrest: In sports facilities versus outside of sports facilities. *Am Heart J* 170:339–345e1
513. Ackerman M, Atkins DL, Triedman JK (2016) Sudden cardiac death in the young. *Circulation* 133:1006–1026
514. Finocchiaro G, Papadakis M, Robertus JL et al (2016) Etiology of sudden death in sports: insights from a united kingdom regional registry. *J Am Coll Cardiol* 67:2108–2115
515. Landry CH, Allan KS, Connelly KA et al (2017) Sudden cardiac arrest during participation in competitive sports. *N Engl J Med* 377:1943–1953
516. Northcote RJ, Flannigan C, Ballantyne D (1986) Sudden death and vigorous exercise—a study of 60 deaths associated with squash. *Br Heart J* 55:198–203
517. Burtcher M, Pachinger O, Mittleman MA, Ulmer H (2000) Prior myocardial infarction is the major risk factor associated with sudden cardiac death during downhill skiing. *Int J Sports Med* 21:613–615
518. Kim JH, Malhotra R, Chiampas G et al (2012) Cardiac arrest during long-distance running races. *N Engl J Med* 366:130–140
519. Harris KM, Creswell LL, Haas TS et al (2017) Death and cardiac arrest in U.S. Triathlon participants, 1985 to 2016: a case series. *Ann Intern Med* 167:529–535
520. Link MS, Estes NA 3rd (2012) Sudden cardiac death in the athlete: bridging the gaps between evidence, policy, and practice. *Circulation* 125:2511–2516
521. Franklin BA, Thompson PD, Al-Zaiti SS et al (2020) Exercise-related acute cardiovascular events and potential deleterious adaptations following long-term exercise training: placing the risks into perspective—an update: a scientific statement from the American heart association. *Circulation* 141:e705–e736
522. Albert CM, Mittleman MA, Chae CU, Lee IM, Hennekens CH, Manson JE (2000) Triggering of sudden death from cardiac causes by vigorous exertion. *N Engl J Med* 343:1355–1361
523. Marijon E, Bougouin W, Jouven X (2015) Sports-related sudden death: lessons from the French registry. *Rev Prat* 65:919–923
524. Kiyohara K, Nishiyama C, Kiguchi T et al (2017) Exercise-related out-of-hospital cardiac arrest among the general population in the era of public-access defibrillation: a population-based observation in Japan. *J Am Heart Assoc* 6. <https://doi.org/10.1161/JAHA.117.005786>
525. Berdowski J, de Beus MF, Blom M et al (2013) Exercise-related out-of-hospital cardiac arrest in the general population: incidence and prognosis. *Eur Heart J* 34:3616–3623
526. Drezner JA, Toresdahl BG, Rao AL, Huszti E, Harmon KG (2013) Outcomes from sudden cardiac arrest in US high schools: a 2-year prospective study from the National Registry for AED Use in Sports. *Br J Sports Med* 47:1179–1183
527. Mont L, Pelliccia A, Sharma S et al (2017) Pre-participation cardiovascular evaluation for athletic participants to prevent sudden death: position paper from the EHRA and the EACPR, branches of the ESC. Endorsed by APHRS, HRS, and SOLAECE. *Eur J Prev Cardiol* 24:41–69
528. Maron BJ, Friedman RA, Kligfield P et al (2014) Assessment of the 12-lead ECG as a screening test for detection of cardiovascular disease in healthy general populations of young people (12–25 Years

- of Age): a scientific statement from the American Heart Association and the American College of Cardiology. *Circulation* 130:1303–1334
529. Wilson MG, Drezner JA, Sharma S (2016) IOC manual of sports cardiology. Wiley, London
 530. Armstrong M, Paternostro-Bayles M, Conroy MB, Franklin BA, Richardson C, Kriska A (2018) Preparticipation screening prior to physical activity in community lifestyle interventions. *Transl J Am Coll Sports Med* 3:176–180
 531. Maron BJ, Doerer JJ, Haas TS, Tierney DM, Mueller FO (2009) Sudden deaths in young competitive athletes: analysis of 1866 deaths in the United States, 1980–2006. *Circulation* 119:1085–1092
 532. Maron BJ, Gohman TE, Kyle SB, Estes NA 3rd, Link MS (2002) Clinical profile and spectrum of commotio cordis. *JAMA* 287:1142–1146
 533. Maron BJ, Haas TS, Ahluwalia A, Garberich RF, Estes NA 3rd, Link MS (2013) Increasing survival rate from commotio cordis. *Heart Rhythm* 10:219–223
 534. Seguin C, Blaquiére G, Loundou A, Michelet P, Markarian T (2018) Unmanned aerial vehicles (drones) to prevent drowning. *Resuscitation* 127:63–67
 535. Claesson A, Svensson L, Nordberg P et al (2017) Drones may be used to save lives in out-of-hospital cardiac arrest due to drowning. *Resuscitation* 114:152–156
 536. Claesson A, Schierbeck S, Hollenberg J et al (2020) The use of drones and a machine-learning model for recognition of simulated drowning victims—A feasibility study. *Resuscitation* 156:196–201
 537. Griffiths MJ, McAuley DF, Perkins GD et al (2019) Guidelines on the management of acute respiratory distress syndrome. *BMJ Open Respir Res* 6:e420
 538. El Sayed M, Tamim H, Mann NC (2015) Description of procedures performed on patients by emergency medical services during mass casualty incidents in the United States. *Am J Emerg Med* 33:1030–1036
 539. Schenk E, Wijetunge G, Mann NC, Lerner EB, Longthorne A, Dawson D (2014) Epidemiology of mass casualty incidents in the United States. *Prehosp Emerg Care* 18:408–416
 540. Turner CD, Lockett DJ, Rehn M (2016) Pre-hospital management of mass casualty civilian shootings: a systematic literature review. *Crit Care* 20:362
 541. Jain T, Sibley A, Stryhn H, Hubloue I (2018) Comparison of unmanned aerial vehicle technology-assisted triage versus standard practice in triaging casualties by paramedic students in a mass-casualty incident scenario. *Prehosp Disaster Med* 33:375–380
 542. Nolan JP, Monsieurs KG, Bossaert L et al (2020) European Resuscitation Council COVID-19 guidelines executive summary. *Resuscitation* 153:45–55
 543. Castle N, Pillay Y, Spencer N (2011) Comparison of six different intubation aids for use while wearing CBRN-PPE: a manikin study. *Resuscitation* 82:1548–1552
 544. Lamhaut L, Dagrón C, Apriotesi R et al (2010) Comparison of intravenous and intraosseous access by pre-hospital medical emergency personnel with and without CBRN protective equipment. *Resuscitation* 81:65–68
 545. Castle N, Bowen J, Spencer N (2010) Does wearing CBRN-PPE adversely affect the ability for clinicians to accurately, safely, and speedily draw up drugs? *Clin Toxicol* 48:522–527
 546. Tokuda Y, Kikuchi M, Takahashi O, Stein GH (2006) Prehospital management of sarin nerve gas terrorism in urban settings: 10 years of progress after the Tokyo subway sarin attack. *Resuscitation* 68:193–202
 547. Cross KP, Petry MJ, Cicero MX (2015) A better START for low-acuity victims: data-driven refinement of mass casualty triage. *Prehosp Emerg Care* 19:272–278
 548. SALT mass casualty triage: concept endorsed by the American College of Emergency Physicians, American College of Surgeons Committee on Trauma, American Trauma Society, National Association of EMS Physicians, National Disaster Life Support Education Consortium, and State and Territorial Injury Prevention Directors Association. *Disaster Med Public Health Prep* 2008;2:245–6.
 549. Cone DC, Serra J, Burns K, MacMillan DS, Kurland L, Van Gelder C (2009) Pilot test of the SALT mass casualty triage system. *Prehosp Emerg Care* 13:536–540
 550. Streckbein S, Kohlmann T, Luxen J, Birkholz T, Pruckner S (2016) Triage protocols for mass casualty incidents : an overview 30 years after START. *Unfallchirurg* 119:620–631
 551. Jones N, White ML, Tofli N et al (2014) Randomized trial comparing two mass casualty triage systems (JumpSTART versus SALT) in a pediatric simulated mass casualty event. *Prehosp Emerg Care* 18:417–423
 552. Broach J, Hart A, Griswold M et al (2018) Usability and reliability of smart glasses for secondary triage during mass casualty incidents. *Proc Annu Hawaii Int Conf Syst Sci* 2018:1416–1422
 553. Risavi BL, Terrell MA, Lee W, Holsten DL Jr. (2013) Prehospital mass-casualty triage training-written versus moulage scenarios: how much do EMS providers retain? *Prehosp Disaster Med* 28:251–256
 554. Knight JF, Carley S, Tregunna B et al (2010) Serious gaming technology in major incident triage training: a pragmatic controlled trial. *Resuscitation* 81:1175–1179
 555. Franklin C, Samuel J, Hu T-C (1994) Life-threatening hypotension associated with emergency intubation and the initiation of mechanical ventilation. *Am J Emerg Med* 12:425–428
 556. Lemaitre RN, Siscovick DS, Psaty BM et al (2002) Inhaled beta-2 adrenergic receptor agonists and primary cardiac arrest. *Am J Med* 113:711–716
 557. Boucher A, Payen C, Garayt C et al (2011) Salbutamol misuse or abuse with fatal outcome: a case-report. *Hum Exp Toxicol* 30:1869–1871
 558. van den Berg ME, Stricker BH, Brusselle GG, Lahousse L (2016) Chronic obstructive pulmonary disease and sudden cardiac death: a systematic review. *Trends Cardiovasc Med* 26:606–613
 559. Salpeter SR, Ormiston TM, Salpeter EE (2004) Cardiovascular effects of beta-agonists in patients with asthma and COPD: a meta-analysis. *Chest* 125:2309–2321
 560. Rosero SZ, Zareba W, Moss AJ et al (1999) Asthma and the risk of cardiac events in the Long QT syndrome. *Long QT Syndrome Investigative Group. Am J Cardiol* 84:1406–1411
 561. Granfeldt A, Wissenberg M, Hansen SM et al (2018) Severity of chronic obstructive pulmonary disease and presenting rhythm in patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 126:111–117
 562. Herlitz J, Rosenfelt M, Bang A et al (1996) Prognosis among patients with out-of-hospital cardiac arrest judged as being caused by deterioration of obstructive pulmonary disease. *Resuscitation* 32:177–184
 563. Leatherman JW, McArthur C, Shapiro RS (2004) Effect of prolongation of expiratory time on dynamic hyperinflation in mechanically ventilated patients with severe asthma. *Crit Care Med* 32:1542–1545
 564. Hostetler MA, Davis CO (1999) Bilateral localized tension pneumothoraces refractory to needle decompression. *Pediatr Emerg Care* 15:322–324
 565. Williams-Johnson J, Williams EW, Hart N, Maycock C, Bullock K, Ramphal P (2008) Simultaneous spontaneous bilateral pneumothoraces in an asthmatic. *West Indian Med J* 57:508–510
 566. Komazawa N, Ueki R, Kusuyama K, Okano Y, Tatara T, Tashiro C (2010) Case of tension pneumothorax associated with asthma attack during general anesthesia. *Masui* 59:614–617
 567. Robert J, Derkenne C, Jost D, Tourtier JP (2017) Out-of-hospital cardiac arrest: an underlying reversible cause. *Circulation* 135:2564–2566
 568. Burdett-Smith P, Jaffey L (1996) Tension pneumoperitoneum. *J Accid Emerg Med* 13:220–221
 569. Castle N, Tagg A, Owen R (2005) Bilateral tension pneumothorax. *Resuscitation* 65:103–105
 570. Martens P, Vandekerckhove Y, Mullie A (1993) Restoration of spontaneous circulation after cessation of cardiopulmonary resuscitation. *Lancet* 341:841
 571. Lapinsky SE, Leung RS (1996) Auto-PEEP and electromechanical dissociation. *N Engl J Med* 335:674
 572. Rogers PL, Schlichtig R, Miro A, Pinsky M (1991) Auto-PEEP during CPR. An “occult” cause of electromechanical dissociation? *Chest* 99:492–493
 573. Rosengarten PL, Tuxen DV, Dziukas L, Scheinkstetel C, Merritt K, Bowes G (1991) Circulatory arrest induced by intermittent positive pressure ventilation in a patient with severe asthma. *Anaesth Intensive Care* 19:118–121
 574. Sprung J, Hunter K, Barnas GM, Bourke DL (1994) Abdominal distention is not always a sign of esophageal intubation: cardiac arrest due to “auto-PEEP”. *Anesth Analg* 78:801–804
 575. Harrison R (2010) Chest compression first aid for respiratory arrest due to acute asphyxial asthma. *Emerg Med Clin North Am* 27:59–61
 576. Fisher MM, Whaley AP, Pye RR (2001) External chest compression in the management of acute severe asthma—a technique in search of evidence. *Prehosp Disaster Med* 16:124–127
 577. Eason J, Tayler D, Cottam S et al (1991) Manual chest compression for total bronchospasm. *Lancet* 337:366
 578. Fisher MM, Bowey CJ, Ladd-Hudson K (1989) External chest compression in acute asthma: a preliminary study. *Crit Care Med* 17:686–687
 579. Myles PS, Weeks AM (1993) Cardiopulmonary resuscitation in obstructive airways disease. *Lancet* 341:1217
 580. Perkins GD, Ji C, Deakin CD et al (2018) A randomized trial of epinephrine in out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 379:711–721
 581. Smith D, Riel J, Tilles I, Kino R, Lis J, Hoffman JR (2003) Intravenous epinephrine in life-threatening asthma. *Ann Emerg Med* 41:706–711
 582. Putland M, Kerr D, Kelly AM (2006) Adverse events associated with the use of intravenous epinephrine in emergency department patients presenting with severe asthma. *Ann Emerg Med* 47:559–563
 583. Yeo HJ, Kim D, Jeon D, Kim YS, Rycus P, Cho WH (2017) Extracorporeal membrane oxygenation for life-threatening asthma refractory to mechanical ventilation: analysis of the Extracorporeal Life Support Organization registry. *Crit Care* 21:297
 584. Mikkelsen ME, Woo YJ, Sager JS, Fuchs BD, Christie JD (2009) Outcomes using extracorporeal

- life support for adult respiratory failure due to status asthmaticus. *ASAIO J* 55:47–52
585. Hubner P, Meron G, Kurkciyan I et al (2014) Neurologic causes of cardiac arrest and outcomes. *J Emerg Med* 47:660–667
586. Kim AS, Moffatt E, Ursell PC, Devinsky O, Olgin J, Tseng ZH (2016) Sudden neurologic death masquerading as out-of-hospital sudden cardiac death. *Neurology* 87:1669–1673
587. Sandroni C, Dell'Anna AM (2015) Out-of-hospital cardiac arrest from neurologic cause: recognition and outcome. *Crit Care Med* 43:508–509
588. Arnaout M, Mongardon N, Deye N et al (2015) Out-of-hospital cardiac arrest from brain cause: epidemiology, clinical features, and outcome in a multicenter cohort. *Crit Care Med* 43:453–460
589. Petek BJ, Erley CL, Kudenchuk PJ et al (2019) Diagnostic yield of non-invasive imaging in patients following non-traumatic out-of-hospital sudden cardiac arrest: A systematic review. *Resuscitation* 135:183–190
590. Skrifvars MB, Parr MJ (2012) Incidence, predisposing factors, management and survival following cardiac arrest due to subarachnoid haemorrhage: a review of the literature. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 20:75
591. Inamasu J, Miyatake S, Tomioka H et al (2009) Subarachnoid haemorrhage as a cause of out-of-hospital cardiac arrest: a prospective computed tomography study. *Resuscitation* 80:977–980
592. Shin J, Kim K, Lim YS et al (2016) Incidence and clinical features of intracranial hemorrhage causing out-of-hospital cardiac arrest: a multicenter retrospective study. *Am J Emerg Med* 34:2326–2330
593. Legriel S, Bougouin W, Chocron R et al (2018) Early in-hospital management of cardiac arrest from neurological cause: diagnostic pitfalls and treatment issues. *Resuscitation* 132:147–155
594. Mitsuma W, Ito M, Kodama M et al (2011) Clinical and cardiac features of patients with subarachnoid haemorrhage presenting with out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 82:1294–1297
595. Park I, Kim YJ, Ahn S, Sohn CH, Seo DW, Kim WY (2015) Subarachnoid hemorrhage mimicking ST-segment elevation myocardial infarction after return of spontaneous circulation. *Clin Exp Emerg Med* 2:260–263
596. Zachariah J, Stanich JA, Braksick SA et al (2017) Indicators of subarachnoid hemorrhage as a cause of sudden cardiac arrest. *Clin Pract Cases Emerg Med* 1:132–135
597. Noritomi DT, de Cleve R, Beer I et al (2006) Doctors awareness of spontaneous subarachnoid haemorrhage as a cause of cardiopulmonary arrest. *Resuscitation* 71:123–124
598. Morris NA, Robinson D, Schmidt JM et al (2018) Hunt-Hess 5 subarachnoid haemorrhage presenting with cardiac arrest is associated with larger volume bleeds. *Resuscitation* 123:71–76
599. Thurman DJ, Hesdorffer DC, French JA (2014) Sudden unexpected death in epilepsy: assessing the public health burden. *Epilepsia* 55:1479–1485
600. Maguire MJ, Jackson CF, Marson AG, Nevitt SJ (2020) Treatments for the prevention of Sudden Unexpected Death in Epilepsy (SUDEP). *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011792.pub3>
601. Joundi RA, Rabinstein AA, Nikneshan D et al (2016) Cardiac arrest in acute Ischemic stroke: incidence, predisposing factors, and clinical outcomes. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 25:1644–1652
602. Fukuda T, Ohashi-Fukuda N, Kondo Y, Sera T, Doi K, Yahagi N (2016) Epidemiology, risk factors, and outcomes of out-of-hospital cardiac arrest caused by stroke: a population-based study. *Medicine* 95:e3107
603. Flegal KM, Kruszon-Moran D, Carroll MD, Fryar CD, Ogden CL (2016) Trends in obesity among adults in the United States, 2005 to 2014. *JAMA* 315:2284–2291
604. Koliaki C, Liatis S, Kokkinos A (2019) Obesity and cardiovascular disease: revisiting an old relationship. *Metabolism* 92:98–107
605. Romero-Corral A, Montori VM, Somers VK et al (2006) Association of bodyweight with total mortality and with cardiovascular events in coronary artery disease: a systematic review of cohort studies. *Lancet* 368:666–678
606. Adabag S, Huxley RR, Lopez FL et al (2015) Obesity related risk of sudden cardiac death in the atherosclerosis risk in communities study. *Heart* 101:215–221
607. Kakavas S, Georgiopoulos G, Oikonomou D et al (2018) The impact of body mass index on post resuscitation survival after cardiac arrest: a meta-analysis. *Clin Nutr ESPEN* 24:47–53
608. Ma Y, Huang L, Zhang L, Yu H, Liu B (2018) Association between body mass index and clinical outcomes of patients after cardiac arrest and resuscitation: a meta-analysis. *Am J Emerg Med* 36:1270–1279
609. Lee H, Oh J, Lee J et al (2019) Retrospective study using computed Tomography to compare sufficient chest compression depth for cardiopulmonary resuscitation in obese patients. *J Am Heart Assoc* 8:e13948
610. Jain R, Nallamothu BK, Chan PS (2010) American heart association national registry of cardiopulmonary resuscitation i. body mass index and survival after in-hospital cardiac arrest. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 3:490–497
611. Nishisaki A, Maltese MR, Niles DE et al (2012) Backboards are important when chest compressions are provided on a soft mattress. *Resuscitation* 83:1013–1020
612. Holt J, Ward A, Mohamed TY et al (2020) The optimal surface for delivery of CPR: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 155:159–164
613. Bunch TJ, White RD, Lopez-Jimenez F, Thomas RJ (2008) Association of body weight with total mortality and with ICD shocks among survivors of ventricular fibrillation in out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 77:351–355
614. White RD, Blackwell TH, Russell JK, Jorgenson DB (2004) Body weight does not affect defibrillation, resuscitation, or survival in patients with out-of-hospital cardiac arrest treated with a nonescalating biphasic waveform defibrillator. *Crit Care Med* 32:S387–92
615. Voskoboinik A, Moskvitch J, Plunkett G et al (2019) Cardioversion of atrial fibrillation in obese patients: results from the Cardioversion-BMI randomized controlled trial. *J Cardiovasc Electrophysiol* 30:155–161
616. Sugerma H, Windsor A, Bessos M, Wolfe L (1997) Intra-abdominal pressure, sagittal abdominal diameter and obesity comorbidity. *J Intern Med* 241:71–79
617. Schnittker R, Marshall SD, Berecki-Gisolf J (2020) Patient and surgery factors associated with the incidence of failed and difficult intubation. *Anaesthesia* 75:756–766
618. Holmberg TJ, Bowman SM, Warner KJ et al (2011) The association between obesity and difficult prehospital tracheal intubation. *Anesth Analg* 112:1132–1138
619. Cook TM, Woodall N, Frerk C (2011) Major complications of airway management in the UK: results of the Fourth National Audit Project of the Royal College of Anaesthetists and the Difficult Airway Society. Part 1: anaesthesia. *Br J Anaesth* 106:617–631
620. Timmermann A, Nickel EA, Pühringer F (2015) Second generation laryngeal masks : expanded indications. *Anaesthesist* 64:7–15
621. Zoremba M, Aust H, Eberhart L, Braunecker S, Wulf H (2009) Comparison between intubation and the laryngeal mask airway in moderately obese adults. *Acta Anaesthesiol Scand* 53:436–442
622. Reminiac F, Joann Y, Cazals X, Bodin JF, Dequin PF, Guillon A (2014) Risks associated with obese patient handling in emergency prehospital care. *Prehosp Emerg Care* 18:555–557
623. Kruska P, Kappus S, Kerner T (2012) Obesity in prehospital emergency care. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 47:556–562
624. Beckett VA, Knight M, Sharpe P (2017) The CAPS Study: incidence, management and outcomes of cardiac arrest in pregnancy in the UK: a prospective, descriptive study. *BJOG* 124:1374–1381
625. Jeejeebhoy FM, Zelop CM, Lipman S et al (2015) Cardiac arrest in pregnancy: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 132:1747–1773
626. Chu J, Johnston TA, Geoghegan J, Royal College of O, Gynaecologists (2020) Maternal collapse in pregnancy and the puerperium: green-top guideline no. 56. *BJOG* 127:e14–e52
627. Regitz-Zagrosek V, Roos-Hesselink JW, Bauersachs J et al (2018) 2018 ESC Guidelines for the management of cardiovascular diseases during pregnancy. *Eur Heart J* 39:3165–3241
628. M-UMA BRtAa UKC (2019) MBRACE-UK perinatal mortality surveillance report. UK Perinatal deaths for births from January to December 2017. MBRACE-UK, London
629. Chesnut AN (2004) Physiology of normal pregnancy. *Crit Care Clin* 20:609–615
630. Page-Rodriguez A, Gonzalez-Sanchez JA (1999) Perimortem cesarean section of twin pregnancy: case report and review of the literature. *Acad Emerg Med* 6:1072–1074
631. Cardosi RJ, Porter KB (1998) Cesarean delivery of twins during maternal cardiopulmonary arrest. *Obstet Gynecol* 92:695–697
632. Humphries A, Mirjalili SA, Tarr GP, Thompson JMD, Stone P (2019) The effect of supine positioning on maternal hemodynamics during late pregnancy. *J Matern Fetal Neonatal Med* 32:3923–3930
633. Kundra P, Khanna S, Habeebullah S, Ravishankar M (2007) Manual displacement of the uterus during Caesarean section. *Anaesthesia* 62:460–465
634. Mendonca C, Griffiths J, Ateleanu B, Collis RE (2003) Hypotension following combined spinal-epidural anaesthesia for Caesarean section. Left lateral position vs. tilted supine position. *Anaesthesia* 58:428–431
635. Rees SG, Thurlow JA, Gardner IC, Scrutton MJ, Kinsella SM (2002) Maternal cardiovascular consequences of positioning after spinal anaesthesia for Caesarean section: left 15 degree table tilt vs. left lateral. *Anaesthesia* 57:15–20
636. Bamber JH, Dresner M (2003) Aortocaval compression in pregnancy: the effect of changing the degree and direction of lateral tilt on maternal cardiac output. *Anesth Analg* 97:256–258 (table of contents)
637. Kinsella SM (2003) Lateral tilt for pregnant women: why 15 degrees? *Anaesthesia* 58:835–836

638. Rees GA, Willis BA (1988) Resuscitation in late pregnancy. *Anaesthesia* 43:347–349
639. Holmes S, Kirkpatrick ID, Zelop CM, Jassal DS (2015) MRI evaluation of maternal cardiac displacement in pregnancy: implications for cardiopulmonary resuscitation. *Am J Obstet Gynecol* 213:401 e1–401 e5
640. Delgado C, Dawson K, Schwaegler B, Zachariah R, Einav S, Bollag L (2020) Hand placement during chest compressions in parturients: a pilot study to identify the location of the left ventricle using transthoracic echocardiography. *Int J Obstet Anesth* 43:31–35
641. Einav S, Kaufman N, Sela HY (2012) Maternal cardiac arrest and perimortem caesarean delivery: evidence or expert-based? *Resuscitation* 83:1191–1200
642. Benson MD, Padovano A, Bourjeily G, Zhou Y (2016) Maternal collapse: challenging the four-minute rule. *EBioMedicine* 6:253–257
643. Ramanathan K, Tan CS, Rycus P et al (2020) Extracorporeal membrane oxygenation in pregnancy: an analysis of the extracorporeal life support organization registry. *Crit Care Med* 48:696–703
644. Nanson J, Elcock D, Williams M, Deakin CD (2001) Do physiological changes in pregnancy change defibrillation energy requirements? *Br J Anaesth* 87:237–239
645. Mushambi MC, Athanassoglou V, Kinsella SM (2020) Anticipated difficult airway during obstetric general anaesthesia: narrative literature review and management recommendations. *Anaesthesia* 75:945–961
646. Mushambi MC, Kinsella SM (2015) Obstetric Anaesthetists' Association/Difficult Airway Society difficult and failed tracheal intubation guidelines—the way forward for the obstetric airway. *Br J Anaesth* 115:815–818
647. Kinsella SM, Winton AL, Mushambi MC et al (2015) Failed tracheal intubation during obstetric general anaesthesia: a literature review. *Int J Obstet Anesth* 24:356–374
648. Say L, Chou D, Gemmill A et al (2014) Global causes of maternal death: a WHO systematic analysis. *Lancet Glob Health* 2:e323–e333
649. Lewis G (2007) The Confidential Enquiry into Maternal and Child Health (CEMACH). Saving Mothers' Lives: Reviewing maternal deaths to make motherhood safer—2003–2005. The Seventh Report of the Confidential Enquiries into Maternal Deaths in the United Kingdom. CEMACH, London
650. Jauniaux E, Alfirevic Z, Bhide AG et al (2019) Vasa Praevia: Diagnosis and Management: Green-top Guideline No. 27b. *BJOG* 126:e49–e61
651. Gynaecologists RCoOa (2016) Postpartum Haemorrhage, Prevention and Management (Green-top Guideline No. 52). Gynaecologists RCoOa, London
652. Collaborators WT (2017) Effect of early tranexamic acid administration on mortality, hysterectomy, and other morbidities in women with postpartum haemorrhage (WOMAN): an international, randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *Lancet* 389:2105–2116
653. Ahearn GS, Hadjiliadis D, Govert JA, Tapson VF (2002) Massive pulmonary embolism during pregnancy successfully treated with recombinant tissue plasminogen activator: a case report and review of treatment options. *Arch Intern Med* 162:1221–1227
654. Excellence NifHaC (2019) Hypertension in pregnancy: diagnosis and management NICE Guideline NG133. National Institute for Health and Care Excellence, London
655. Conde-Agudelo A, Romero R (2009) Amniotic fluid embolism: an evidence-based review. *Am J Obstet Gynecol* 201:445 e1–445 e13
656. Fitzpatrick KE, Tuffnell D, Kurinczuk JJ, Knight M (2016) Incidence, risk factors, management and outcomes of amniotic-fluid embolism: a population-based cohort and nested case-control study. *BJOG* 123:100–109
657. Rittenberger JC, Kelly E, Jang D, Greer K, Heffner A (2008) Successful outcome utilizing hypothermia after cardiac arrest in pregnancy: a case report. *Crit Care Med* 36:1354–1356
658. Song KH, Lee BK, Jeung KW, Lee SM (2015) Safely completed therapeutic hypothermia in postpartum cardiac arrest survivors. *Am J Emerg Med* 33:861 e5–861 e6
659. Merien AE, van de Ven J, Mol BW, Houterman S, Oei SG (2010) Multidisciplinary team training in a simulation setting for acute obstetric emergencies: a systematic review. *Obstet Gynecol* 115:1021–1031
660. Leonardsen AL, Svendsen EJ, Heitmann GB et al (2020) Development and validation of a questionnaire to assess healthcare personnel competence in cardiac arrest and resuscitation in pregnancy. *PLoS ONE* 15:e232984
661. Merriel A, Ficquet J, Barnard K et al (2019) The effects of interactive training of healthcare providers on the management of life-threatening emergencies in hospital. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012177.pub2>

Glukagon bei schweren Hypoglykämien

In mehreren Kapiteln der Leitlinien wird auf die Möglichkeit der Therapie der Hypoglykämie mit Glukagon hingewiesen. Bisher war die Gabe nur als intramuskuläre Injektion möglich. Inzwischen steht Glukagon auch als intranasaler Pulverspray (Baqsimi®) zur Verfügung.

Da Diabetiker dies mit sich führen können, steht Laien für die Erste Hilfe bei bewußtlosen Diabetikern die Applikation des Patienten eigenen Medikamentes zur Verfügung, für professionelle Helfer kann die intranasale Applikation des Pulver Spray's bei Bewusstlosigkeit aufgrund von Hypoglykämie und unmöglichem i.v. Zugang als Alternative zur klassischen i.m. Applikation dienen.

Die Anwendung ist einfach: Man hält das Einzeldosisbehältnis zwischen Daumen und Fingern und führt die Spitze in ein Nasenloch ein, bis die Finger den Nasenrand berühren. Erst jetzt wird der Kolben ganz durchgedrückt, bis der grüne Streifen darauf im Behältnis verschwindet.

Die intranasale Applikation (3 mg) ist auch für Kinder ab 4 Jahren geeignet.

Hinweis des GRC zu den ERC-Reanimationsleitlinien 2021

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:524–576
<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00892-y>
 Angenommen: 19. April 2021
 Online publiziert: 8. Juni 2021
 © European Resuscitation Council (ERC),
 German Resuscitation Council (GRC), Austrian
 Resuscitation Council (ARC) 2021



Jerry P. Nolan^{1,2} · Claudio Sandroni^{3,4} · Bernd W. Böttiger⁵ · Alain Cariou⁶ · Tobias Cronberg⁷ · Hans Friberg⁸ · Cornelia Genbrugge^{9,10} · Kirstie Haywood¹¹ · Gisela Lilja¹² · Véronique R. M. Moulart¹³ · Nikolaos Nikolaou¹⁴ · Theresa Mariero Olasveengen¹⁵ · Markus B. Skrifvars¹⁶ · Fabio Taccone¹⁷ · Jasmeel Soar¹⁸

¹ Professor of Resuscitation Medicine, University of Warwick, Warwick Medical School, Coventry, Großbritannien; ² Consultant in Anaesthesia and Intensive Care Medicine, Royal United Hospital, Bath, Großbritannien; ³ Department of Intensive Care, Emergency Medicine and Anaesthesiology, Fondazione Policlinico Universitario A. Gemelli-IRCCS, Rom, Italien; ⁴ Institute of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine, Università Cattolica del Sacro Cuore, Rom, Italien; ⁵ Professor of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine, Director of Department of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine, University Hospital of Cologne, Köln, Deutschland; ⁶ Cochin University Hospital (APHP) and University of Paris (Medical School), Paris, Frankreich; ⁷ Department of Clinical Sciences, Neurology, Lund University, Skane University Hospital, Lund, Schweden; ⁸ Department of Clinical Sciences, Anaesthesia and Intensive Care Medicine, Lund University, Skane University Hospital, Lund, Schweden; ⁹ Acute Medicine Research Pole, Institute of Experimental and Clinical Research (IREC) Université Catholique de Louvain, Brüssel, Belgien; ¹⁰ Emergency Department, University Hospitals Saint-Luc, Brüssel, Belgien; ¹¹ Warwick Research in Nursing, Room A108, Division of Health Sciences, Warwick Medical School, University of Warwick, Coventry, Großbritannien; ¹² Skane University Hospital, Department of Clinical Sciences Lund, Neurology, Lund University, Lund, Schweden; ¹³ University Medical Center Groningen, Department of Rehabilitation Medicine, University of Groningen, Groningen, Niederlande; ¹⁴ Cardiology Department, Konstantopouleio General Hospital, Athen, Griechenland; ¹⁵ Department of Anesthesiology, Oslo University Hospital and Institute of Clinical Medicine, University of Oslo, Oslo, Norwegen; ¹⁶ Department of Emergency Care and Services, University of Helsinki and Helsinki University Hospital, Helsinki, Finnland; ¹⁷ Department of Intensive Care, Hôpital Erasme, Université Libre de Bruxelles, Brüssel, Belgien; ¹⁸ Consultant in Anaesthesia and Intensive Care Medicine, Southmead Hospital, North Bristol NHS Trust, Bristol, Großbritannien

Postreanimationsbehandlung

Leitlinien des European Resuscitation Council und der European Society of Intensive Care Medicine 2021

Zusatzmaterial online

Die Online-Version dieses Beitrags (<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00892-y>) enthält die tabellarische Aufführung der Änderungen ERC-Leitlinien 2021 zu den Leitlinien von 2015 in englischer Sprache. Beitrag und Zusatzmaterial stehen Ihnen auf www.springermedizin.de zur Verfügung. Bitte geben Sie dort den Beitragstitel in die Suche ein, das Zusatzmaterial finden Sie beim Beitrag unter „Ergänzende Inhalte“.

Einführung und Rahmen

Im Jahr 2015 haben der Europäische Rat für Wiederbelebung (ERC) und die Europäische Gesellschaft für Intensivmedizin (ESICM) ihre ersten gemeinsamen Leitlinien für die Reanimation erstellt und zeitgleich in *Resuscitation* und *Intensive Care Medicine* veröffentlicht [1, 2]. Diese Leitlinien zur Postreanimationsbehandlung wurden für 2020 umfassend aktualisiert und enthalten die seit 2015 veröffentlichten wissenschaftlichen Erkenntnisse. Zu den behandelten Themen gehören das Postreanimationssyndrom, die Steuerung von Oxygenierung und Beatmung, hämodynamische Zielparameter, koronare Reperfusion, gezieltes Temperaturmanagement (TTM), Behandlung von Krampfanfällen, Prognosestellung, Rehabilitation und Langzeitüberleben.

Methoden

Die umfassende Beschreibung des Entwicklungsprozesses der Leitlinie ist in einer Zusammenfassung [3] verfügbar.

Die Leitlinien wurden mit dem generischen Maskulinum übersetzt. Bitte beachten Sie, dass alle Personenbezeichnungen gleichermaßen für beide Geschlechter gelten.

Die Übersetzung beruht auf der Version vom 29.01.2021. Bis zur Publikation des englischen Originals in *Resuscitation* wurden in manchen Kapiteln Literaturstellen korrigiert oder andere Änderungen vorgenommen, die den Sinn nicht wesentlich ändern.

Die Autoren Jerry P. Nolan und Claudio Sandroni teilen sich die Erstautorenschaft.

POSTREANIMATIONSBEHANDLUNG 5 KERNAUSSAGEN



1. Nach ROSC gehen Sie nach dem ABC Konzept vor

- Erweiterte Atemwegssicherung (endotracheale Intubation wenn möglich)
- Inspiratorische Sauerstoffgabe titriert auf 94–98 % SpO₂ und Normokapnie Beatmung
- Zuverlässiger intravenöser Zugang, um Normovolämie wiederherzustellen, Hypotension vermeiden (RR Ziel >100 mmHg)

2. Notfall Herzkatheter +/- sofortige PCI nach Kreislaufstillstand mit vermuteter kardialer Ursache und ST-Hebung im EKG

3. Verwende gezieltes Temperatur-Management (TTM) bei Erwachsenen mit ROSC, die nach einem Kreislaufstillstand komatös bleiben (Ereignis innerhalb und außerhalb des Krankenhauses; nach allen initialen Rhythmen).

4. Verwende einen multimodalen Ansatz zur Prognosestellung unter Verwendung von Klinischer Untersuchung, Elektrophysiologie, Bestimmung von Biomarkern und Bildgebung

5. Erfasse physische und nicht-physische Defizite sowohl vor als auch nach Entlassung aus dem Krankenhaus und überweise in die Rehabilitation falls erforderlich.

Abb. 1 ▲ Zusammenfassung der Postreanimationsbehandlung

Der internationale Konsens für den Überprüfungsprozess der wissenschaftlichen Evidenz zur kardiopulmonalen Reanimation

Dem International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR, www.ilcor.org) gehören Vertreter der American Heart Association (AHA), des European Resuscitation Council (ERC), der kanadischen Heart and Stroke Foundation (HSFC), des australischen und neuseeländischen Ausschusses für Wiederbelebung (ANZCOR), des Reanimationsrats des südlichen Afrikas (RCSA), der In-

teramerikanischen Herzstiftung (IAHF) und des Reanimationsrats Asiens (RCA) an. Von 2000 bis 2015 bewerteten Forscher der ILCOR-Mitgliedsräte die wissenschaftlichen Arbeiten in 5-Jahres-Zyklen. Nach der Veröffentlichung des Internationalen Konsenses über den wissenschaftlichen Kenntnisstand von CPR und ECC 2015 mit Behandlungsempfehlungen (CoSTR 2015; [4]) verpflichtete sich ILCOR zu einem kontinuierlichen Evidenzbewertungsprozess, dessen Themen priorisiert und jährlich als CoSTR-Updates veröffentlicht werden [5–7]. Für das CoSTR 2020 führten die sechs

ILCOR-Task Forces drei Arten der Evidenzbewertung durch: die systematische Überprüfung, die Scoping-Überprüfung und die Evidenzaktualisierung, insgesamt wurden 184 Themen behandelt [8]. Es wurde vereinbart, dass nur systematische Überprüfungen (diese verwendeten die Grading-of-Recommendations-Assessment-Development-and-Evaluation[GRADE]-Methode) zu neuen oder geänderten Behandlungsempfehlungen führen können [9]. Die Datenanalyse aus jeder systematischen Überprüfung wurde der Task Force vorgelegt, und die Task Force entwarf den zusammenfassenden wissenschaftlichen Konsens für die Behandlungsempfehlungen. Jede Behandlungsempfehlung gab den Grad der Empfehlung (Empfehlungen = stark, Vorschläge = schwach) und den Grad der Evidenz an. Die Entwürfe für 2020-CoSTR wurden für einen zweiwöchigen Kommentarzeitraum auf der ILCOR-Webseite (ilcor.org) veröffentlicht. Danach wurden die endgültigen Formulierungen der wissenschaftlichen Aussagen und Behandlungsempfehlungen von den Task Forces vervollständigt und in den Zeitschriften *Resuscitation* und *Circulation* als Konsens für Wissenschafts- und Behandlungsempfehlungen (CoSTR) für 2020 veröffentlicht.

Der Europäische Rat für Wiederbelebung und die Europäische Gesellschaft für Intensivmedizin zur Entwicklung von Leitlinien für die Behandlung nach Wiederbelebung, Leitlinien Postreanimationsbehandlung

Zum Verfassen der Leitlinien wurden 15 Personen aufgrund ihres Fachwissens, ihrer ERC- und ESICM-Repräsentation und -Diversität (Geschlecht, Arzt und Nichtarzt sowie Geografie [Nord- und Südeuropa]) für die ERC-ESICM-Gruppe ausgewählt.

Diese ERC-ESICM-Leitlinien zur Postreanimationsbehandlung basieren hauptsächlich auf dem Abschnitt Advanced Life Support des CoSTR-Dokuments 2020 und stellen einen Konsens der Vertreter des ERC und des ESICM dar [10]. Wenn Behandlungsempfehlun-

gen von ILCOR bereitgestellt werden, wurden diese vom ERC und ESICM übernommen. In Ermangelung einer ILCOR-Empfehlung beruhen die Leitlinien des ERC-ESICM auf der Überprüfung und der Diskussion der gemeinsamen Arbeitsgruppe, bis ein Konsens erzielt wurde. Die Vorsitzenden der Arbeitsgruppe stellten sicher, dass alle Mitglieder die Möglichkeit hatten, ihre Ansichten darzulegen und zu diskutieren, und dass die Diskussionen offen und konstruktiv waren. Alle Diskussionen fanden während acht zweistündigen Zoom-Videokonferenzen statt, die zwischen Januar 2020 und November 2020 abgehalten wurden. Alle 15 Mitglieder der Gruppe erzielten in einem offenen Verfahren einen Konsens über alle Behandlungsempfehlungen.

Diese Leitlinien wurden von den Mitgliedern der Post-Resuscitation Care Writing Group entworfen und vereinbart, bevor sie zwischen dem 21. Oktober und dem 5. November 2020 auf der ERC-Webseite zur Kommentierung veröffentlicht wurden. Die Möglichkeit, die Leitlinien zu kommentieren, wurde über soziale Medien (Facebook, Twitter) beworben sowie über das ERC-Netzwerk von 33 nationalen Resuscitation Councils. Neun Personen aus vier Ländern machten 25 Kommentare. Eine dieser Personen war ein medizinischer Laie. Die Überprüfung dieser Kommentare führte zu acht Änderungen.

Zusammenfassung der wichtigsten Änderungen

Eine Zusammenfassung der wichtigsten Änderungen gegenüber den ERC-ESICM-Leitlinien für die Postreanimationsbehandlung aus 2015 ist in Tab. 1 (Siehe Zusatzmaterial online <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00892-y>) aufgeführt.

Die Kernaussagen aus diesem Abschnitt sind in **Abb. 1** dargestellt.

Kurze Leitlinie für die klinische Praxis

Dieser Abschnitt enthält eine Zusammenfassung der wichtigsten Empfehlungen. Die den Empfehlungen zugrundeliegenden Argumente sind im Abschnitt

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:524–576 <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00892-y>
© European Resuscitation Council (ERC), German Resuscitation Council (GRC), Austrian Resuscitation Council (ARC) 2021

J. P. Nolan · C. Sandroni · B. W. Böttiger · A. Cariou · T. Cronberg · H. Friberg · C. Genbrugge · K. Haywood · G. Lilja · V. R. M. Moulaert · N. Nikolaou · T. M. Olasveengen · M. B. Skrifvars · F. Taccone · J. Soar

Postreanimationsbehandlung. Leitlinien des European Resuscitation Council und der European Society of Intensive Care Medicine 2021

Zusammenfassung

Der Europäische Rat für Wiederbelebung (ERC) und die Europäische Gesellschaft für Intensivmedizin (ESICM) haben gemeinsam diese Leitlinie für die Postreanimationsphase von Erwachsenen erstellt, basierend auf dem internationalen ILCOR Konsensus 2020 zur kardiopulmonalen Wiederbelebung.

Die behandelten Themen umfassen das Postreanimationsyndrom („post-cardiac arrest syndrome“), die Differenzialdiagnose der Ursachen des Kreislaufstillstands, Kontrolle der Oxygenierung und Beatmung, die

koronare Reperfusion, die hämodynamische Überwachung und Behandlung, die Kontrolle von Krampfanfällen, die Temperaturkontrolle, das allgemeine Management der Intensivpflege, die Prognose und das Langzeitergebnis, die Rehabilitation und die Organspende.

Schlüsselwörter

Post-Reanimations-Syndrom · Gezieltes Temperaturmanagement · Intensivmedizinische Behandlung · Invasive Beatmung · Differenzierte hämodynamische Behandlung

Post-resuscitation care. European Resuscitation Council and European Society of Intensive Care Medicine Guidelines 2021

Abstract

The European Resuscitation Council (ERC) and the European Society of Intensive Care Medicine (ESICM) have collaborated to produce these post-resuscitation phase guidelines for adults, which are based on the 2020 International Liaison Committee on Resuscitation consensus on cardiopulmonary resuscitation.

The topics covered include post-cardiac arrest syndrome, the differential diagnosis of the causes of cardiac arrest, control of oxygenation and ventilation, coronary

reperfusion, haemodynamic monitoring and management, control of seizures, temperature control, general intensive care management, prognostication, long-term outcome, rehabilitation and organ donation.

Keywords

Intensive care medicine · Targeted temperature management · Haemodynamic management · Ventilatory support · Post-cardiac arrest syndrome

„Argumente für die Leitlinien“ aufgeführt.

Sofortige Nachsorge

- Die Postreanimationsbehandlung wird unabhängig vom Ort unmittelbar nach einem ROSC begonnen (**Abb. 2**).
- Bei einem Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses soll der Transport zu einem Cardiac-Arrest-Zentrum erfolgen.

Diagnose der Ursache des Kreislaufstillstands

- Wenn klinische (z. B. hämodynamische Instabilität) oder EKG-Hinweise auf eine Myokardischämie vorliegen, führen Sie zuerst eine Koronarangiographie durch. Darauf folgt die CT-Gehirn- und/oder CT-Lungenangiographie, wenn die Koronarangiographie keine ausreichende Ursache identifiziert.
- Eine frühzeitige Erkennung einer respiratorischen oder neurologischen Ursache kann durch die Durchführung eines zerebralen und Thorax-CT-Scans bei Einweisung ins Kran-

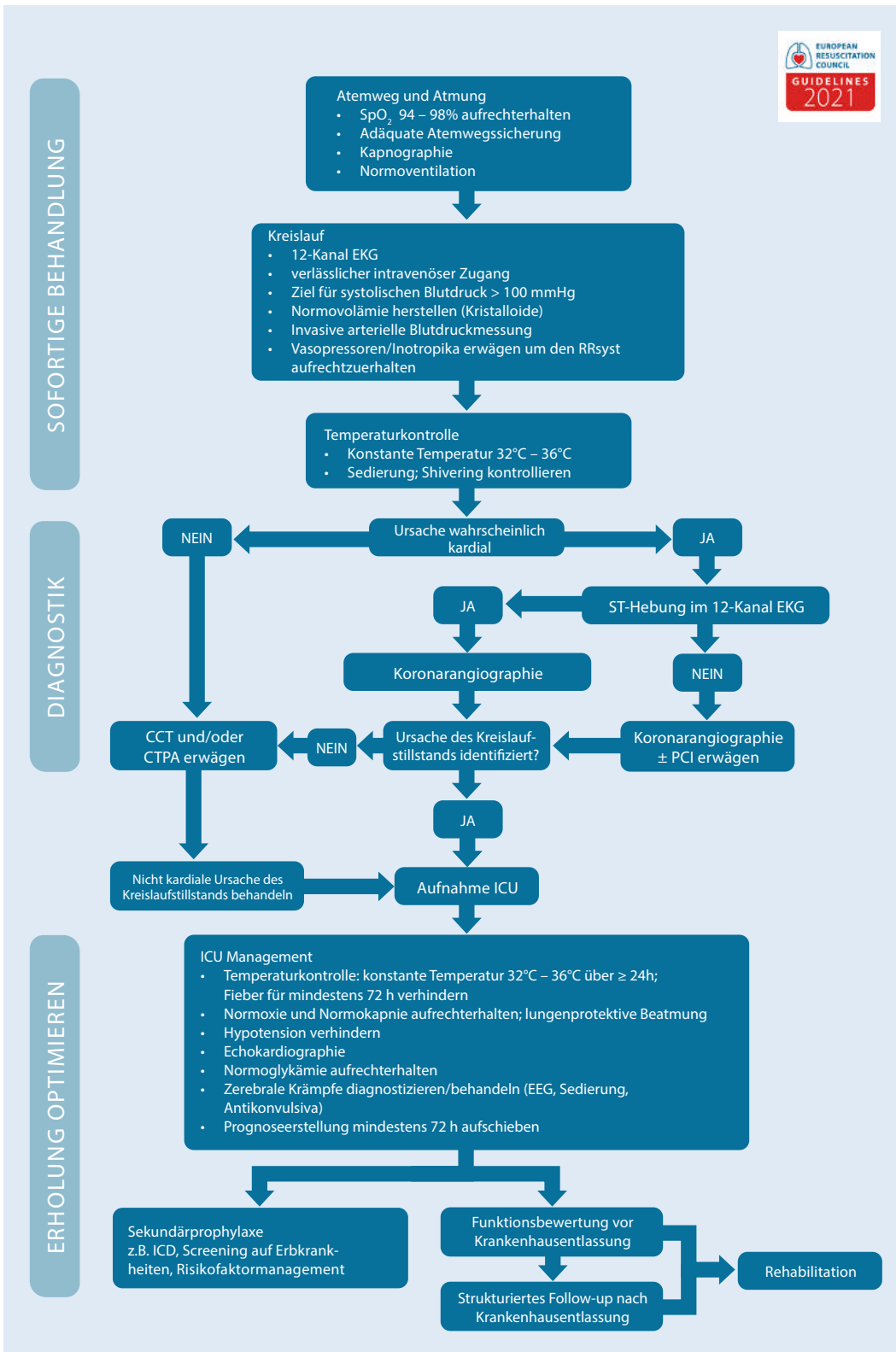


Abb. 2 ◀ Postreanimationsalgorithmus. *SBP* systolischer Blutdruck, *PCI* perkutane Koronarintervention, *CT* Pulmonalis Angiographie, *CTPA* CT-Angiographie, *ICU* Intensivstation, *EEG* Elektroenzephalographie, *ICD* implantierter Kardioverterdefibrillator

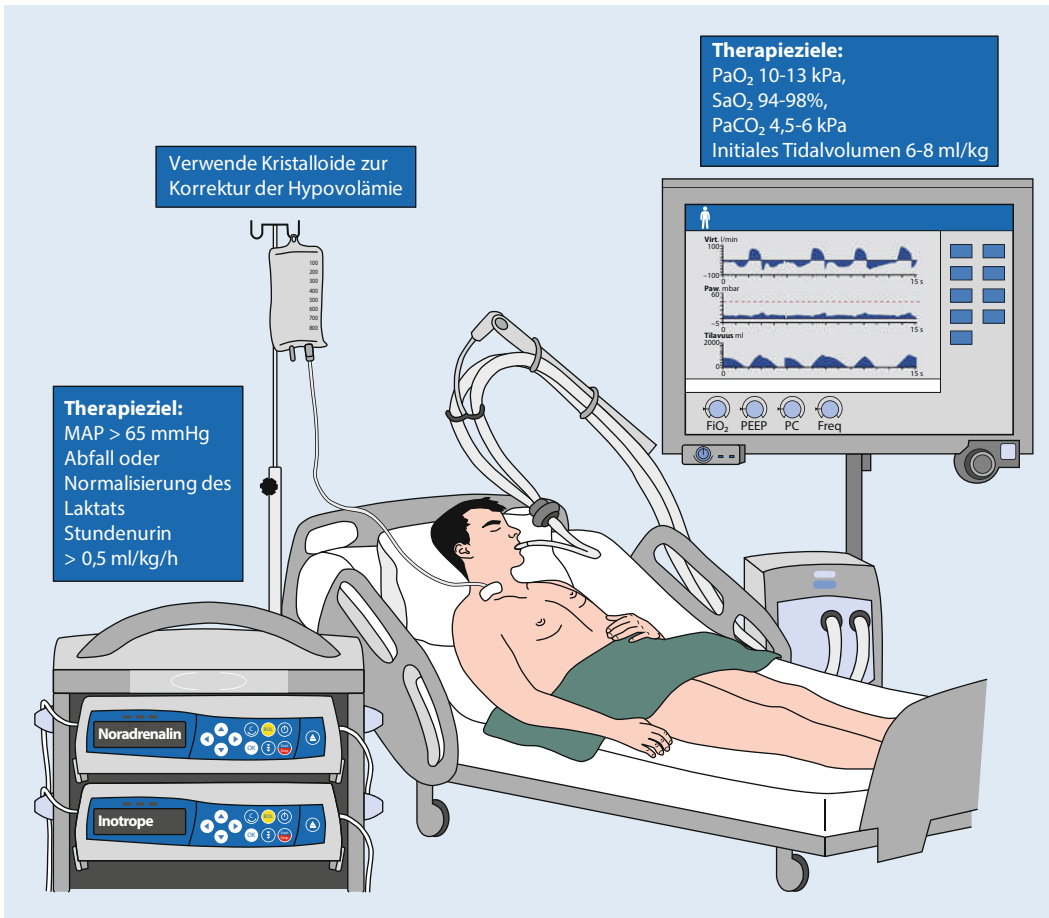


Abb. 3 Ziele für Hämodynamik, Oxygenierung und Beatmung

kenhaus vor oder nach der Koronarangiographie erreicht werden (siehe Koronarperfusion).

- Wenn vor dem Kreislaufstillstand Anzeichen oder Symptome vorliegen, die auf eine neurologische oder respiratorische Ursache hinweisen (z. B. Kopfschmerzen, Krampfanfälle oder neurologische Defizite, Atemnot oder dokumentierte Hypoxämie bei Patienten mit bekannter Atemwegserkrankung), führen Sie ein CT-Gehirn und/oder eine CT-Lungenangiographie durch.

Atemwege und Atmung

Atemwegsmanagement nach ROSC

- Die Sicherung der Atemwege und der Beatmung soll nach ROSC fortgesetzt werden.
- Patienten, die einen kurzen Kreislaufstillstand und eine sofortige Rückkehr zur normalen Gehirnfunktion hat-

ten und normal atmen, benötigen möglicherweise keine Intubation, sollen jedoch Sauerstoff über eine Gesichtsmaske erhalten, wenn ihre Sauerstoffsättigung weniger als 94 % beträgt.

- Bei Patienten, die nach ROSC im Koma bleiben oder eine andere klinische Indikation für Sedierung und mechanische Beatmung haben, sollen intubiert werden, wenn dies nicht bereits während der CPR durchgeführt wurde.
- Die Intubation soll nur von erfahrenen Behandlern mit einer ausreichend hohen Erfolgsrate durchgeführt werden.
- Der Intubationserfolg muss durch Kapnographie bestätigt werden.
- In Abwesenheit von intubationserfahrenem Personal ist es sinnvoll, einen supraglottischen Atemweg (SGA) einzuführen oder den Atemweg mit alternativen Techniken zu sichern, bis qualifiziertes und in

der Intubation erfahrenes Personal verfügbar ist.

Kontrolle der Sauerstoffversorgung

- Verwenden Sie nach ROSC 100 % (oder die maximal verfügbare Konzentration) Sauerstoff, bis die Sauerstoffsättigung oder der Partialdruck des arteriellen Sauerstoffs zuverlässig gemessen werden kann.
- Nach ROSC titrieren Sie die eingatmete Sauerstoffkonzentration, sobald SpO₂ zuverlässig gemessen werden kann oder arterielle Blutgaswerte ermittelt werden können, um eine Sauerstoffsättigung von 94 bis 98 % oder einen arteriellen Sauerstoffpartialdruck (PaO₂) von 10 bis 13 kPa bzw. 75 bis 100 mm Hg zu erreichen (Abb. 3).
- Vermeiden Sie nach ROSC eine Hypoxämie (PaO₂ < 8 kPa oder 60 mm Hg).

- Vermeiden Sie Hyperoxämie nach ROSC.

Kontrolle der Beatmung

- Verwenden Sie arterielle Blutgasanalysen und die etCO_2 -Messung bei mechanisch beatmeten Patienten zur Kontrolle der Beatmung.
- Bei Patienten, die nach ROSC eine mechanische Beatmung benötigen, steuern Sie die Beatmung entsprechend einem physiologischen arteriellen Kohlendioxidpartialdruck (PaCO_2), d.h. 4,5–6,0 kPa oder 35–45 mm Hg.
- Bei Patienten, die mit einem gezielten Temperaturmanagement (TTM) behandelt werden, soll der PaCO_2 engmaschig überwacht werden, da eine Hypokapnie auftreten kann.
- Verwenden Sie bei TTM und niedrigeren Temperaturen durchgängig entweder einen temperatur- oder einen nichttemperaturkorrigierten Ansatz zur Messung der Blutgaswerte.
- Verwenden Sie eine lungenprotektive Beatmungsstrategie, indem Sie ein Atemzugvolumen von 6 bis 8 ml kg^{-1} des idealen Körpergewichts anstreben.

Kreislauf

Koronare Reperfusion

- Bei erwachsenen Patienten mit ROSC nach einem Kreislaufstillstand mit Verdacht auf kardialen Ursprung und ST-Erhöhung im EKG soll eine Notfall-PCI durchgeführt werden.
- Bei Patienten mit ROSC nach einem Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses (OHCA) ohne ST-Erhöhung im EKG soll die Notfall-PCI in Betracht gezogen werden, wenn eine hohe Wahrscheinlichkeit eines akuten Koronarverschlusses besteht (z. B. Patienten mit hämodynamischer und/oder elektrischer Instabilität).

Hämodynamisches Monitoring und Behandlung

- Alle Patienten sollen mit einer kontinuierlichen arteriellen Blutdruckmessung überwacht werden,

und es ist sinnvoll, bei hämodynamisch instabilen Patienten das Herzzeitvolumen zu überwachen.

- Führen Sie bei allen Patienten eine frühzeitige (so bald wie möglich) Echokardiographie durch, um eine zugrundeliegende Herzpathologie zu erkennen und den Grad der Myokardfunktionsstörung zu quantifizieren.
- Vermeiden Sie Hypotonie <65 mm Hg als Zielwert des mittleren arteriellen Drucks (MAP), um eine angemessene Urinproduktion ($>0,5$ ml $\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) und normales oder abnehmendes Laktat zu erreichen (■ **Abb. 3**).
- Während der TTM bei 33°C kann eine Bradykardie unbehandelt bleiben, wenn Blutdruck, Laktat, ScvO_2 oder SvO_2 ausreichend sind. Wenn nicht, erhöhen Sie die Zieltemperatur, jedoch nicht höher als 36°C .
- Halten Sie patientenadaptiert die Perfusion mit intravenöser Flüssigkeitssubstitution, Noradrenalin und/oder Dobutamin aufrecht und orientieren sich nach intravasulärem Volumen, Vasokonstriktion oder Inotropie.
- Geben Sie keine Steroide routinemäßig nach einem Kreislaufstillstand.
- Vermeiden Sie Hypokaliämie, da diese mit ventrikulären Arrhythmien assoziiert ist.
- Erwägen Sie eine mechanische Kreislaufunterstützung (z. B. eine intraaortale Ballonpumpe, ein linksventrikuläres ‘Assist Device’ oder eine arteriovenöse extrakorporale Membranoxygenierung), um einen anhaltenden kardiogenen Schock aufgrund eines linksventrikulären Versagens zu überbrücken, wenn die Behandlung mit Flüssigkeitsgaben, inotropen und vasoaktiven Arzneimitteln unzureichend ist. Bei hämodynamisch instabilen Patienten mit akutem Koronarsyndrom (ACS) und rezidivierender ventrikulärer Tachykardie (VT) oder Kammerflimmern (VF) sollen trotz optimaler Therapie auch ein linksventrikuläres ‘Assist Device’ oder eine arteriovenöse extrakorporale Membranoxygenierung in Betracht gezogen werden.

Neurologisches Defizit (Optimierung der neurologischen Erholung)

Kontrolle von Krampfanfällen

- Wir empfehlen die Elektroenzephalographie (EEG), um Krampfanfälle bei Patienten zu diagnostizieren und die Behandlungseffekte zu überwachen.
- Zur Behandlung von Anfällen nach Kreislaufstillstand empfehlen wir Levetiracetam oder Natriumvalproat als Antiepileptikum der ersten Wahl zusätzlich zu Sedativa.
- Wir empfehlen, dass bei Patienten nach Kreislaufstillstand keine routinemäßige Anfallsprophylaxe angewendet wird.

Temperaturkontrolle

- Wir empfehlen ein gezieltes Temperaturmanagement (TTM) für Erwachsene nach OHCA oder Kreislaufstillstand im Krankenhaus (IHCA; unabhängig vom Initialrhythmus), die nach ROSC nicht das Bewusstsein wiedererlangen.
- Halten Sie eine Zieltemperatur mindestens 24 h lang auf einem konstanten Wert zwischen 32°C und 36°C .
- Vermeiden Sie eine Temperaturerhöhung ($>37,7^\circ\text{C}$) für mindestens 72 h nach ROSC bei Patienten, die komatös bleiben.
- Verwenden Sie in der Prähospitalphase (vor der Krankenseinlieferung) keine kalten intravenösen Flüssigkeiten zur Einleitung eines TTM.

Allgemeines Intensivmanagement

- Verwenden Sie kurzwirksame Sedativa und Opioide.
- Vermeiden Sie die routinemäßige Verwendung eines Muskelrelaxans bei Patienten, die einer TTM unterzogen werden. Dies kann jedoch bei starkem Kältezittern während der TTM in Betracht gezogen werden.
- Verwenden Sie routinemäßig eine Prophylaxe von Stressulcera bei Patienten nach Kreislaufstillstand.
- Verwenden Sie eine Prophylaxe zur Verhinderung einer tiefen Venenthrombose.

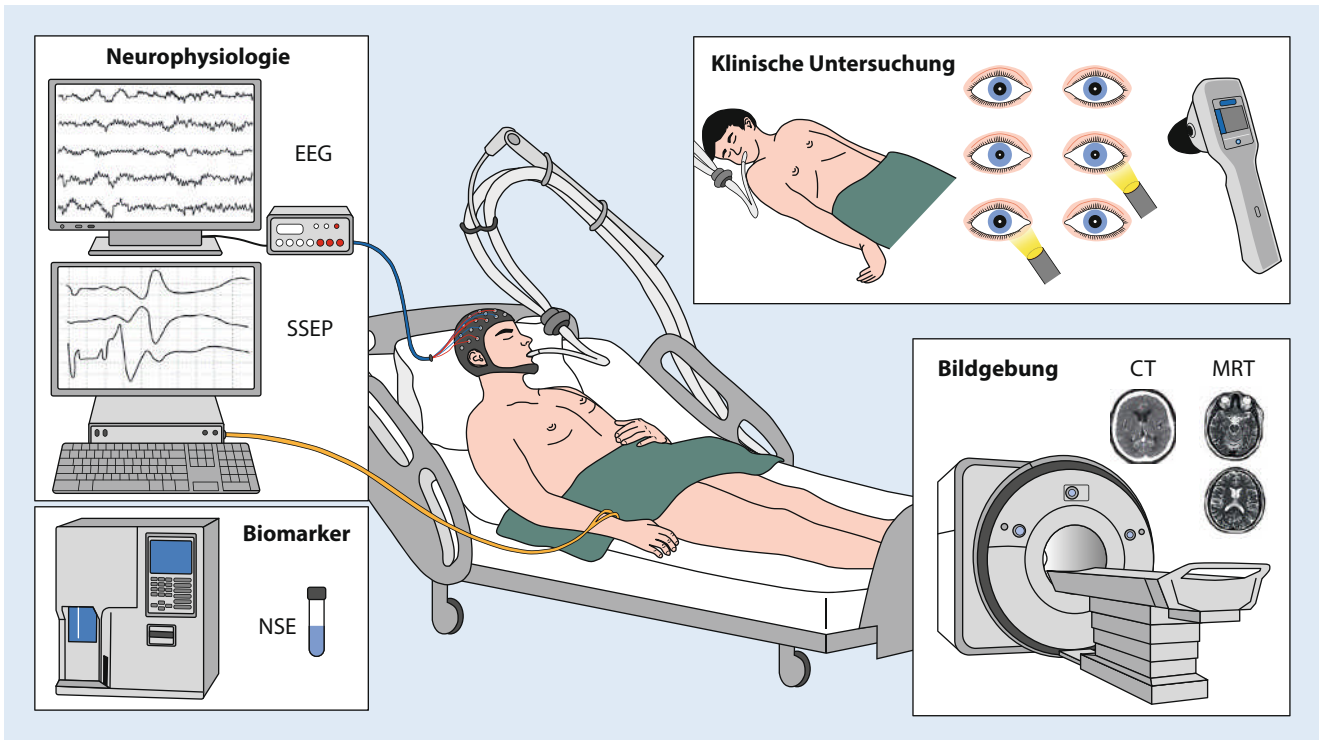


Abb. 4 ▲ Prognoseerstellung. EEG Elektroenzephalographie; NSE neuronenspezifische Enolase; SSEP somatosensorisch evozierte Potenziale

- Versuchen Sie, einen Blutzucker-gehalt von 7,8 bis 10 mmol L⁻¹ (140–180 mg dL⁻¹) zu erreichen, indem Sie bei Bedarf eine Insulininfusion verwenden. Vermeiden Sie eine Hypoglykämie (<4,0 mmol L⁻¹, bzw. <70 mg dL⁻¹).
- Starten Sie die enterale Ernährung mit niedrigen Raten (trophische Ernährung) während der TTM und erhöhen Sie sie nach dem Wiedererwärmen, falls angezeigt. Wenn eine TTM von 36 °C als Zieltemperatur verwendet wird, kann die enterale Ernährung frühzeitig während der TTM erhöht werden.
- Eine routinemäßige prophylaktische Antibiotikatherapie wird nicht empfohlen.

Prognoseerstellung

Allgemeine Hinweise

- Bei Patienten, die nach einer erfolgreichen Herz-Lungen-Wiederbelebung komatös bleiben, soll eine neurologische Einschätzung unter Verwendung klinisch-neurologischer Untersuchungen, Elektrophysiolo-

gie, Biomarkern und Bildgebung durchgeführt werden. Dies kann der gezielten Information der Angehörigen des Patienten dienen und den behandelnden Ärzten helfen, die Behandlungsstrategie auf Basis der klinisch-neurologischen Untersuchungen vorzunehmen (▣ **Abb. 4 und 5**).

- Kein einzelner Prädiktor ist 100 % zuverlässig. Daher wird eine multimodale Strategie zur Neuroprognostikation empfohlen.
- Bei der Vorhersage eines schlechten neurologischen Ergebnisses sind eine hohe Spezifität und Genauigkeit wünschenswert, um falsch pessimistische Vorhersagen zu vermeiden.
- Die klinisch-neurologische Untersuchung ist von zentraler Bedeutung für die Prognosebestimmung. Um falsch pessimistische Vorhersagen zu vermeiden, sollen Ärzte mögliche Interaktionen und Nebenwirkungen durch Sedativa und andere Medikamente berücksichtigen, welche die Untersuchungsergebnisse verfälschen könnten.

- Wenn Patienten mit TTM behandelt werden, wird eine tägliche klinische Untersuchung empfohlen, die endgültige prognostische Beurteilung soll jedoch erst nach dem Wiedererwärmen erfolgen.

- Ärzte müssen sich der Gefahr einer sich selbst erfüllenden Prophezeiungsverzerrung bewusst sein, welche auftritt, wenn die Ergebnisse eines Indextests mit ungünstiger Prognosestellung für Behandlungsentscheidungen verwendet werden, insbesondere in Hinsicht auf lebenserhaltende Therapien.
- Prädiktoren für die neurologische Prognose zielen darauf ab, den Schweregrad einer hypoxisch-ischämischen Hirnverletzung zu bestimmen. Die neurologische Prognose ist einer von mehreren Aspekten, die bei Diskussionen über das Genesungspotenzial eines Patienten berücksichtigt werden müssen.

Multimodale Prognosebewertung

- Beginnen Sie die Prognosebewertung mit einer genauen klinischen Untersuchung, die erst durchge-

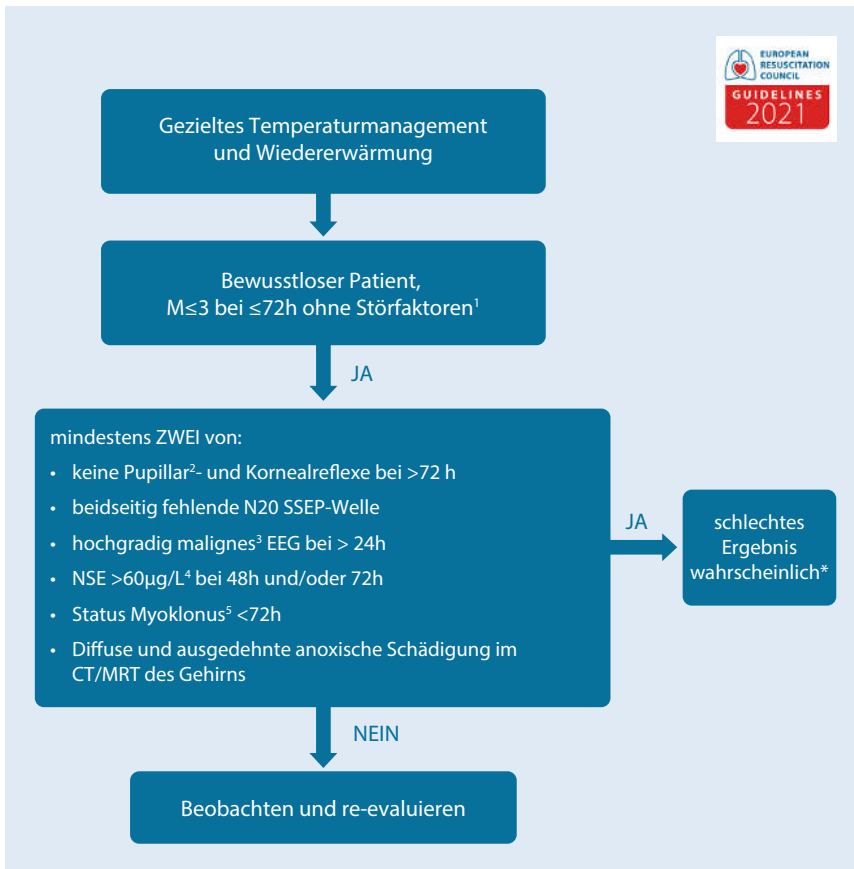


Abb. 5 ▲ Algorithmus für die Prognoseerstellung. EEG Elektroenzephalographie; NSE neuronenspezifische Enolase; SSEP somatosensorisch evozierte Potenziale; ROSC Rückkehr des Spontankreislaufs. ¹ Neben (Analgo-)Sedierung und neuromuskulärer Blockade stellen Hypothermie, schwere Hypotonie, Sepsis, Hypoglykämie, Sepsis sowie Stoffwechsel- oder Atemstörungen andere wesentliche Probleme dar. ² Verwenden Sie ein automatisiertes Pupillometer, um die Lichtreaktion der Pupillen zu bestimmen, falls verfügbar. ³ Suppression (niedrigamplitudige bis isoelektrische Muster) im Hintergrund-EEG, generalisierte periodische Entladungen bei ansonsten flachem EEG oder Burst-Suppression gemäß ACNS ⁴ Steigende NSE-Werte zwischen 24 und 48 h oder 24/48 h und 72 h deuten weiterhin auf ein wahrscheinlich schlechtes Ergebnis hin. ⁵ Definiert als anhaltende, generalisierte Muskelzuckungen (Myoklonus) von 30 min Dauer oder länger. * Vorsicht bei widersprüchlichen Befunden, da diese möglicherweise auf ein gutes Ergebnis hinweisen (Einzelheiten siehe Text)

führt werden soll, nachdem größere Störfaktoren (z. B. Restsedierung, Unterkühlung) ausgeschlossen wurden (Abb. 5).

- Bei einem komatösen Patienten ≤ 3 bei ≥ 72 h nach ROSC ist in Abwesenheit von Störfaktoren ein schlechtes Ergebnis wahrscheinlich, wenn zwei oder mehr der folgenden Prädiktoren vorliegen: keine Pupillen- und Hornhautreflexe bei ≥ 72 h, bilateral ohne N20 SSEP-Welle bei ≥ 24 h, hoch malignes EEG bei > 24 h, neuronenspezifische Enolase (NSE) $> 60 \mu\text{g L}^{-1}$ bei 48 h und/oder 72 h, Status myoklonus ≤ 72 h oder diffuse und umfangreiche anoxische

Schädigung im Gehirn-CT/MRT. Die meisten dieser Anzeichen können vor 72 h nach ROSC registriert werden, bewertet werden die Ergebnisse jedoch nur zum Zeitpunkt der Durchführung der klinischen Prognose.

Klinische Untersuchung

- Die klinische Untersuchung ist anfällig für Störungen durch Sedativa, Opioide oder Muskelrelaxanzien. Eine mögliche Beeinflussung durch Restsedierung soll immer berücksichtigt werden.
- Ein Glasgow Motor Score von ≤ 3 (abnorme Flexion oder entspre-

chende Reaktion auf Schmerzen) 72 h oder später nach ROSC kann Patienten identifizieren, bei denen möglicherweise eine neurologische Prognosebewertung erforderlich ist.

- Bei Patienten, die 72 h oder später nach ROSC komatös bleiben, können die folgenden Tests ein schlechtes neurologisches Ergebnis vorhersagen:
 - Beidseitiges Fehlen des Standard-Pupillenlichtreflexes
 - Quantitative Pupillometrie
 - Beidseitiges Fehlen des Hornhautreflexes
 - Vorhandensein von Myoklonien innerhalb von 96 h und insbesondere Status myoklonus innerhalb von 72 h
- Wir empfehlen außerdem, das EEG in Gegenwart von Myoklonien aufzuzeichnen, um die Erkennung einer damit verbundenen epileptiformen Aktivität oder von EEG-Zeichen wie Hintergrundaktivität oder Kontinuität zu ermöglichen, was auf ein Potenzial für eine neurologische Erholung hindeutet.

Neurophysiologie

- Führen Sie ein EEG bei Patienten durch, die nach dem Kreislaufstillstand bewusstlos sind.
- Hochmaligne EEG-Muster beinhalten einen unterdrückten Hintergrund mit oder ohne periodische Entladungen und Burst-Suppression-Muster. Wir empfehlen, diese EEG-Muster nach dem Ende der TTM und nach Beendigung der Sedierung als Indikatoren für eine ungünstige Prognose zu bewerten.
- Das Vorhandensein eindeutiger Anfälle im EEG während der ersten 72 h nach ROSC ist ein Indikator für eine schlechte Prognose.
- Das Fehlen einer Hintergrundaktivität im EEG ist ein Indikator für eine schlechte Prognose nach Kreislaufstillstand.
- Das bilaterale Fehlen somatosensorisch evozierter kortikaler N20-Potenziale ist ein Indikator für eine schlechte Prognose nach Kreislaufstillstand.
- Berücksichtigen Sie die Ergebnisse des EEG und der somatosensorisch

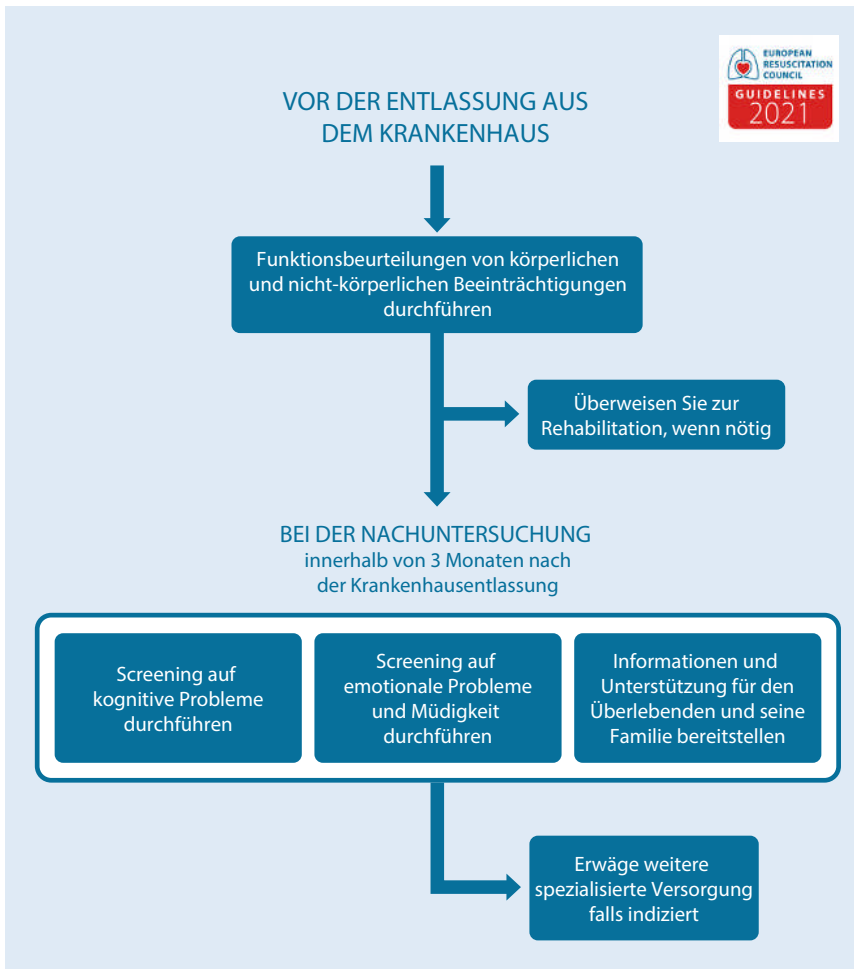


Abb. 6 ▲ Empfehlungen für die Beurteilung und Nachsorge im Krankenhaus sowie die Rehabilitation nach Kreislaufstillstand

evozierten Potenziale (SSEP) immer im Zusammenhang mit klinischen Untersuchungsergebnissen und anderen Tests. Erwägen Sie immer die Wirkung eines Muskelrelaxans, wenn Sie SSEP durchführen.

Biomarker

- Verwenden Sie serielle NSE-Messungen in Kombination mit anderen Methoden, um das Ergebnis nach Kreislaufstillstand beurteilen zu können. Steigende Werte zwischen 24 und 48 h oder 72 h in Kombination mit hohen Werten nach 48 und 72 h weisen auf eine schlechte Prognose hin.

Bildgebung

- Verwenden Sie Bildgebung von zerebralen Strukturen zur Vorhersage eines schlechten neurologischen

Ergebnisses nach Kreislaufstillstand in Kombination mit anderen Prädiktoren. Dies soll nur in Zentren durchgeführt werden, welche über eine Expertise in diesen Untersuchungen verfügen.

- Verwenden Sie den Nachweis eines generalisierten Hirnödems, welches sich in deutlicher Verringerung des Verhältnisses von grauer zu weißer Substanz beim CCT oder einer umfassenden Diffusionsbeschränkung bei der Hirn-MRT äußert, um ein schlechtes neurologisches Ergebnis nach Kreislaufstillstand vorherzusagen.
- Berücksichtigen Sie die Ergebnisse der Bildgebung immer in Kombination mit anderen Methoden zur neurologischen Prognose.

Rückzug von der lebenserhaltenden Therapie oder Therapiezieländerung

- Bei Diskussionen über den Entzug der lebenserhaltenden Therapie („withdrawal of life-sustaining therapy“, WLST) und die Bewertung der Prognose für die neurologische Genesung: WLST-Entscheidungen sollen weitere Aspekte wie Alter, Komorbidität, allgemeine Organfunktion und die Lebenseinstellungen der Patienten mit berücksichtigen.
- Geben Sie dem Team und den Angehörigen ausreichend Zeit, wenn Sie über den weiteren Behandlungsweg entscheiden.

Langzeitergebnisse nach Kreislaufstillstand

- Führen Sie vor der Entlassung aus dem Krankenhaus eine Funktionsbewertung der körperlichen und nicht-körperlichen Beeinträchtigungen durch, um den Bedarf an frühzeitiger Rehabilitation zu ermitteln und um gegebenenfalls eine Rehabilitation einzuleiten (■ **Abb. 6**).
- Organisieren Sie eine Follow-up-Untersuchung für alle Überlebenden eines Kreislaufstillstands innerhalb von 3 Monaten nach der Entlassung aus dem Krankenhaus. Diese soll umfassen:
 1. Screening auf kognitive Probleme
 2. Screening auf emotionale Probleme und Müdigkeit
 3. Bereitstellung von Informationen und Unterstützung für Überlebende und Familienmitglieder

Organspende

- Alle Entscheidungen bezüglich der Organspende müssen den aktuellen gesetzlichen und ethischen Anforderungen entsprechen.
- Eine Organspende soll bei Personen in Betracht gezogen werden, die einen ROSC erreicht haben, aber die neurologischen Kriterien für den unumkehrbaren Ausfall der Hirnfunktionen (Hirntod) erfüllen (■ **Abb. 7**).

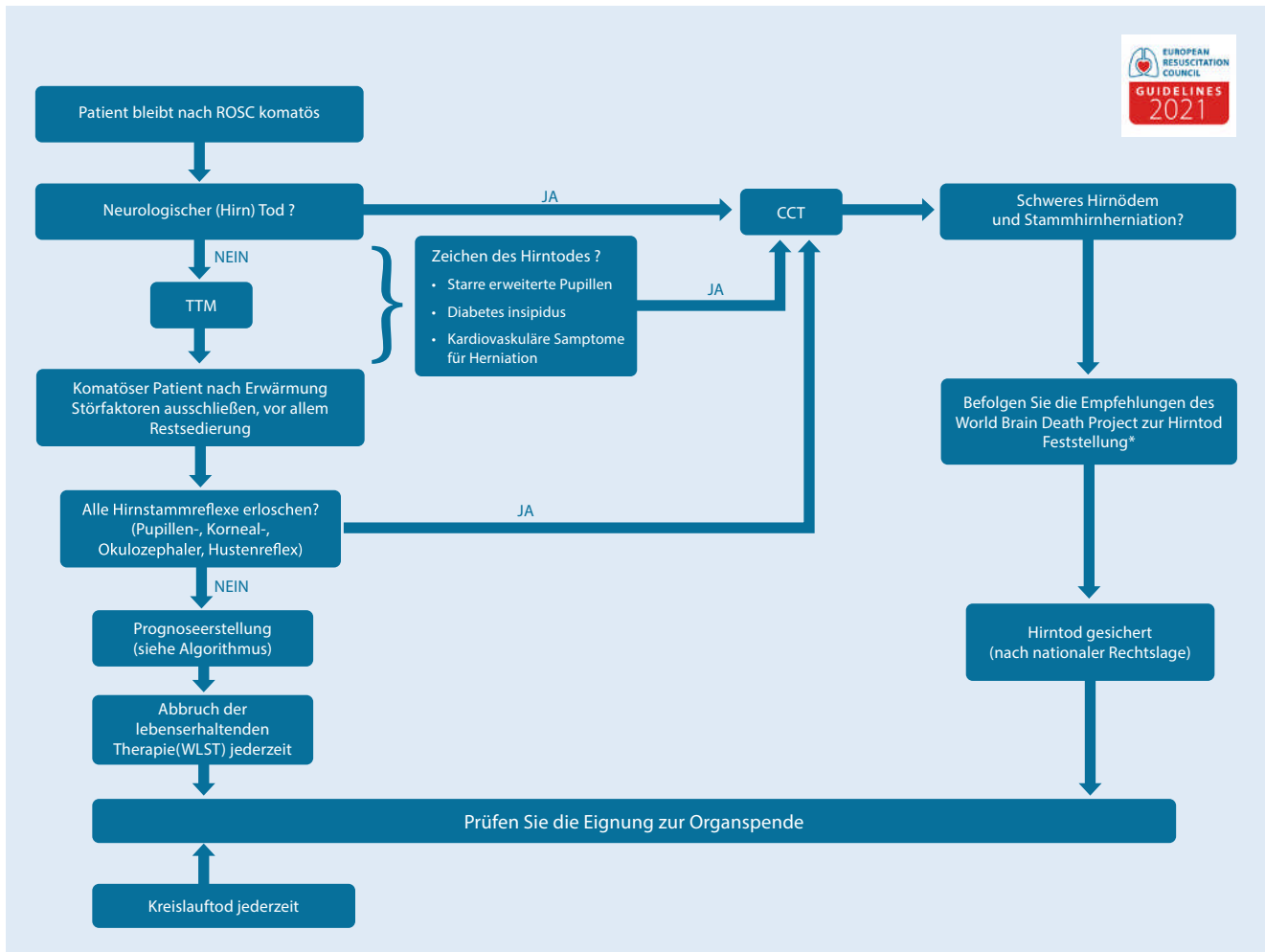


Abb. 7 ▲ Algorithmus Organspende nach Kreislaufstillstand. * Beinhaltet einen 24-stündigen Beobachtungszeitraum nach der Wiedererwärmung auf 36 °C vor dem klinischen Test auf Hirntod ([19]. Adaptiert von [20].) (Die Rechtslage zur Organspende nach persistierendem Kreislaufstillstand (Donation after Circulatory Determination of Death, DCD) ist in den deutschsprachigen Ländern unterschiedlich: während in Deutschland für die Organspende grundsätzlich die Feststellung des Hirntodes erforderlich ist, ist in Österreich, der Schweiz und Luxemburg die Organspende bei erfolgloser Reanimation grundsätzlich möglich. Im Moment wird sie allerdings aus organisatorisch/logistischen Gründen nur an wenigen Orten durchgeführt)

- Bei komatösen beatmeten Patienten, welche die neurologischen Kriterien für den Tod nicht erfüllen, aber eine Therapiezieländerung festgelegt wurde, soll eine Organspende in Betracht gezogen werden, wenn ein Kreislaufstillstand auftritt.

Cardiac-Arrest-Zentren

- Erwachsene Patienten mit nichttraumatischem OHCA sollen für den Transport zu einem Cardiac Arrest Zenter gemäß dem lokalen Protokoll in Betracht gezogen werden.

Evidenz, die den Leitlinien zugrunde liegt

Postreanimationssyndrom

Das Postreanimationssyndrom umfasst eine hypoxisch-ischämische Hirnschädigung und Myokardfunktionsstörung nach Kreislaufstillstand, die systemische Ischämie/Reperfusionssreaktion sowie die anhaltende auslösende Pathologie [21–24]. Die Schwere dieses Syndroms hängt von der Dauer und der Ursache des Kreislaufstillstands ab. Sie tritt möglicherweise gar nicht auf, wenn der Kreislaufstillstand nur sehr kurz ist. Bei Patienten, die auf der Intensivstation (ICU) überlebt haben und

anschließend im Krankenhaus sterben, ist die häufigste Ursache für den Abbruch der Behandlung die Prognose eines schlechten neurologischen Ergebnisses. Dies kommt in etwa zwei Dritteln nach OHCA und etwa 25 % nach einem Kreislaufstillstand im Krankenhaus vor [25–29]. Herz-Kreislauf-Versagen ist für die meisten Todesfälle in den ersten drei Tagen verantwortlich, während für den größten Teil der späteren Todesfälle in vielen Ländern die Beendigung der lebenserhaltenden Massnahmen (WLST) verantwortlich ist, basierend auf einer ungünstigen Prognose aufgrund einer schweren hypoxisch-ischämischen Hirnschädigung [26, 29, 30]. Eine hypoxisch-ischämische Hirnverletzung nach

Kreislaufstillstand ist mit Hypotonie, Hypoxämie, Hyperoxämie, Pyrexie, Hypoglykämie, Hyperglykämie und zerebralen Krampfanfällen verbunden. Eine signifikante Myokardfunktionsstörung tritt häufig nach einem Kreislaufstillstand auf, beginnt sich jedoch in der Regel nach 2–3 Tagen zu erholen, obwohl die vollständige Genesung erheblich länger dauern kann [31–36]. Die Ganzkörperischämie/Reperfusion von Kreislaufstillstand, CPR und ROSC aktiviert Immun- und Gerinnungskaskaden, die zum Mehrfach-Organversagen beitragen und das Infektionsrisiko erhöhen [37–46]. Somit hat das Postreanimationsyndrom viele Gemeinsamkeiten mit der Sepsis, einschließlich intravasculärem Volumenmangel, Vasodilatation, Endothelschädigung und Mikrozirkulationsstörungen [47–56].

Diagnose der Ursache des Kreislaufstillstands

Diese Leitlinien basieren auf einem Konsensus von Expertenmeinungen.

Die kardialen Ursachen von OHCA wurden in den letzten Jahrzehnten eingehend untersucht. Hingegen ist wenig über nichtkardiale Ursachen bekannt. Eine frühzeitige Erkennung einer respiratorischen oder neurologischen Ursache würde den Transfer des Patienten auf eine spezialisierte Intensivstation zur optimalen Versorgung ermöglichen. Verbesserte Kenntnis der Prognose ermöglicht auch die Diskussion über die Angemessenheit spezifischer Therapien, einschließlich TTM. Mehrere Fallserien zeigten, dass diese Strategie erlaubt, Diagnosen nichtkardialer Ursachen für einen Kreislaufstillstand bei einem erheblichen Anteil der Patienten zu erkennen [57, 58]. Bei Patienten mit anhaltendem ROSC bei Krankenseinlieferung gibt es erhebliche regionale Unterschiede in der Inzidenz von subarachnoidalen Blutungen als Ursache des Kreislaufstillstands. Veröffentlichte Fallserien berichten über 16,2% in Japan [59], 11,4% in Korea [60] und 7% in Frankreich [61]. Bei Patienten mit Kreislaufstillstand im Zusammenhang mit Trauma oder Blutung ist wahrscheinlich ein Ganzkörper-CT-Scan angezeigt [10, 62, 63].

Atemwege und Atmung

Atemwegsmanagement nach ROSC

Diese Leitlinien basieren auf einem Experten-Konsens.

Patienten können, abhängig von Umgebung oder bestimmten Umständen, vor, während oder nach einem Kreislaufstillstand intubiert werden [64]. Nach den meisten Kreislaufstillständen wird eine Trachealintubation während der Reanimation oder bei Verbleiben des Patienten im Koma nach ROSC durchgeführt [65].

Die Trachealintubation nach ROSC bei komatösen Patienten erleichtert die Behandlung nach der Reanimation durch kontrollierte Beatmung und Oxygenierung, Schutz der Lunge vor Aspiration des Mageninhalts, Kontrolle über zerebrale Krampfanfälle und TTM (Details siehe unten).

Post-ROSC-Patienten sind häufig hämodynamisch instabil und benötigen je nach Bewusstseinsniveau möglicherweise eine medikamentös unterstützte Trachealintubation. Bezogen auf die Fähigkeiten des Behandelnden, die Überwachung und die Auswahl der Medikamente soll das gleiche Maß an Sorgfalt wie für jeden anderen schwerkranken Patienten gewährleistet werden [66, 67]. Es gibt keine Empfehlungen für eine bestimmte Wirkstoffkombination [68]. Die Verwendung einer niedrigen Dosis eines Sedativums, eines Analgetikums und eines schnell-wirksamen Muskelrelaxans ist wahrscheinlich optimal.

Kontrolle der Oxygenierung

Diese Leitlinien basieren auf dem systematischen ILCOR-Review zu Oxygenierungs- und Ventilationszielen nach Kreislaufstillstand, der 7 randomisierte kontrollierte Studien und 36 Beobachtungsstudien [69] und CoSTR umfasste [10]. Die ILCOR-Behandlungsempfehlungen bezogen auf die Oxygenierung lauten:

- Wir schlagen die Verwendung von 100% inspiratorischen Sauerstoff vor, bis die arterielle Sauerstoffsättigung oder der Partialdruck des arteriellen Sauerstoffs bei Erwachsenen mit ROSC nach Kreislaufstillstand in

jeder Situation zuverlässig gemessen werden kann (schwache Empfehlung, sehr wenig sichere Evidenz).

- Wir empfehlen, eine Hypoxämie bei Erwachsenen mit ROSC nach Kreislaufstillstand unter allen Umständen zu vermeiden (starke Empfehlung, sehr wenig sichere Evidenz).
- Wir empfehlen, eine Hyperoxämie bei Erwachsenen mit ROSC nach Kreislaufstillstand unter allen Umständen zu vermeiden (schwache Empfehlung, sehr wenig sichere Evidenz).

Aus pathophysiologischer Sicht besteht bei Patienten nach Kreislaufstillstand das Risiko einer hypoxisch-ischämischen Hirnschädigung und einer damit einhergehenden Organfunktionsstörung [10, 24, 70, 71]. Die Rolle der Blutsauerstoffwerte während des Krankheitsprozesses ist kaum bekannt [72]. Studien zeigen, dass eine zerebrale Ischämie nach einem Kreislaufstillstand mit einem schlechten Reanimationserfolg in Verbindung zu bringen ist [73]. Die Verabreichung von mehr Sauerstoff kann die Sauerstoffversorgung des Gehirns erhöhen [74]. Andererseits würden höhere Sauerstoffwerte logischerweise einen Anstieg der schädlichen freien Sauerstoffradikale verursachen [75]. Es ist auch wahrscheinlich, dass die Wirkung von Sauerstoffwerten zwischen verschiedenen Organen wie Herz und Gehirn variiert.

Zahlreiche experimentelle Studien haben den Einfluss von Hyperoxämie auf eine neurologische Schädigung mit gemischten Ergebnissen bewertet [76]. Sechs randomisierte kontrollierte Studien (RCT) haben verschiedene Oxygenierungsziele für unterschiedliche Zeiträume zwischen unmittelbar und bis zu 48h nach ROSC verglichen [77–82]. Eine Untergruppenanalyse einer großen randomisierten kontrollierten Studie, die auf eine arterielle Sauerstoffsättigung von 90–97% anstelle 90–100% abzielte, zeigte, dass bei Patienten mit einem Risiko für eine hypoxisch-ischämische Hirnschädigung die 180-Tage-Mortalität in der Zielgruppe mit niedrigerem Sauerstoffgehalt geringer war [77]. Dieser Unterschied zeigte sich jedoch als

statistisch nicht mehr signifikant, wenn er für die Unterschiede bei den Ausgangswerten korrigiert wurde [83]. Eine randomisierte kontrollierte Pilotstudie, die auf einen Sauerstoffpartialdruck von 10 bis 15 kPa anstelle 20 bis 25 kPa abzielte, zeigte keine veränderten Werte der Biomarker für neurologische Schädigungen. Insgesamt ist die Evidenzlage uneinheitlich. Sie deutet jedoch darauf hin, dass eher eine normale Sauerstoffversorgung als eine Hyperoxämie angestrebt werden soll. Beobachtungsdaten legen nahe, eine Hypoxämie zu vermeiden. Es liegen jedoch keine randomisierten kontrollierten Studien zu diesem Thema vor.

Bei den meisten Patienten ist nach einem Kreislaufstillstand eine kontrollierte Sauerstoffversorgung durch eine endotracheale Intubation und mechanische Beatmung für mindestens 24–72 h erforderlich. Die Ausnahme stellt der vollständig bewusste Patient mit offenen Atemwegen dar, welcher mit Sauerstoffmaske oder nichtinvasiver Beatmung behandelt wird, mit einer Ziel-SpO₂ von 94–98%. Während des Kreislaufstillstands wird der Patient mit der maximal verfügbaren inspiratorischen Sauerstoffkonzentration beatmet, bei professioneller Wiederbelebung normalerweise 100% [10]. Nach ROSC soll das Ziel darin bestehen, die Sauerstoffversorgung entweder mit einem Pulsoxymeter oder vorzugsweise mit einer frühzeitigen arteriellen Blutgasprobe zu überwachen. Die früh nach ROSC gemessene Sauerstoffversorgung kann sich sehr unterscheiden und variiert von Hypoxämie bis zu extremer Hyperoxämie [84]. Daher ist es angebracht, den eingeatmeten Sauerstoff zu titrieren, indem entweder der Sauerstofffluss bei Anwendung einer Beutelmassenbeatmung oder der inspirierte Sauerstoffanteil (FiO₂) bei Verwendung eines mechanischen Beatmungsgeräts angepasst wird [85]. Eine längere Verwendung von 100% inspiriertem Sauerstoff, beispielsweise während des Transports, führt häufig zu extremer Hyperoxämie [86]. Eine weitere Methode zur Überwachung ist die zerebrale Sauerstoffüberwachung mithilfe der Nahinfrarotspektroskopie. Ihre Rolle

bei der Postreanimationsbehandlung ist jedoch ungewiss [87, 88].

Kontrolle der Beatmung

Diese Leitlinien basieren auf demselben systematischen Review des ILCOR, der bereits im Abschnitt über die Oxygenierung aufgeführt ist [10, 69]. Die ILCOR-Behandlungsempfehlungen in Bezug auf die Beatmung lauten:

- Es gibt nicht genügend Anhaltspunkte für oder gegen eine leichte Hyperkapnie im Vergleich zur Normokapnie bei Erwachsenen mit ROSC nach Kreislaufstillstand.
- Wir empfehlen, bei Erwachsenen mit ROSC nach Kreislaufstillstand nicht routinemäßig gegen eine Hypokapnie vorzugehen (schwache Empfehlung, wenig sichere Evidenz).

Nach ROSC sind die Kohlendioxidpartialdruckwerte (PCO₂) im Blut häufig aufgrund von Hypoventilation während des Arrests und schlechter Gewebedurchblutung erhöht, [89] was eine gemischt respiratorische und metabolische Azidose verursacht [90]. Kohlendioxid ist ein bekannter Regulator des Blutgefäßtonus und des zerebralen Blutflusses [91]. Ein erhöhter PCO₂ (Hyperkapnie) erhöht den zerebralen Blutfluss, das zerebrale Blutvolumen und den intrazerebralen Druck. Eine Hypokapnie führt zu einer Vasokonstriktion, die den Blutfluss verringert und eine zerebrale Ischämie verursachen kann [92].

Die Hauptmethode zur Steuerung des PaCO₂ bei einem mechanisch beatmeten Patienten ist die Anpassung des Minutenvolumens durch das Ändern der Beatmungsfrequenz und/oder des Atemzugvolumens. Im Allgemeinen ist die Begrenzung des Atemzugvolumens und die Anwendung einer protektiven Beatmungsstrategie der Behandlungsstandard, insbesondere bei Patienten mit akutem Atemnotsyndrom (ARDS; [10, 93, 94]). Ein akutes Atemnotsyndrom ist bei Patienten mit Kreislaufstillstand keine Seltenheit und geht mit schlechteren Ergebnissen einher [10, 95, 96]. Eine geringe Lungencompliance begünstigt ein funktionell schlechtes Ergebnis bei Patienten mit OHCA [97]. Eine Beatmung mit kleinerem Atemzugvolumen

ist jedoch kein gängiges Verfahren in der neuro-intensivmedizinischen Versorgung [98].

In zwei Pilotstudien wurden verschiedene Kohlendioxidziele während der weiteren Behandlung verglichen [78, 99]. Eine Studie ergab, dass eine leichte Hyperkapnie (50–55 mm Hg) im Vergleich zu Normokapnie (35–45 mm Hg) zu niedrigeren neuronenspezifischen Enolase (NSE)-Werten führte, einem Marker für das Ausmaß der neurologischen Schädigung [99]. Eine andere Pilotstudie verglich das untere und obere Ende des Bereichs der Normokapnie (33–45 mm Hg) in den ersten 36 h nach der Reanimation und fand keinen Unterschied bei den Markern für neurologische Schädigungen [78]. Beide Studien zeigten, dass ein höherer PaCO₂ mit einer höheren zerebralen Oxygenierung, durch Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) gemessen, in Verbindung gebracht werden konnte. Die klinischen Auswirkungen dieses Zusammenhangs sind jedoch ungewiss [88]. Mehrere große Beobachtungsstudien hatten zum Ziel, den optimalen CO₂-Wert während der Behandlung nach einem Kreislaufstillstand zu ermitteln [100–105]. Die Ergebnisse sind uneinheitlich. Während einige Studien auf eine Schädigung durch sowohl Hypo-, als auch Hyperkapnie hinweisen, suggerieren andere einen größeren Reanimationserfolg bei leichter Hyperkapnie. Jüngste Beobachtungsdaten aus Großbritannien legen einen Zusammenhang zwischen arteriellem Sauerstoffanteil und Kohlendioxid nahe. Daten aus den ersten 24 h nach der Reanimation zeigten, dass eine Kombination aus Hypoxie und Hypokapnie mit einem schlechteren Ergebnis verbunden war. Von Schäden durch Hyperoxie wurde nicht berichtet [106]. Frühere Beobachtungsdaten von finnischen Intensivstationen zeigten ähnliche Ergebnisse [100].

Beobachtungsdaten legen nahe, dass Patienten, die TTM durchlaufen, zu Hypokapnie neigen [107]. Dies kann durch engmaschige arterielle Blutgasanalysen zur Bestimmung des Kohlendioxids und Überwachung des endtidalem CO₂ vermieden werden. Bei Patienten mit niedrigeren Temperaturzielen bei TTM, ist das

Management des PaCO₂ besonders herausfordernd [108]. Für die Empfehlung einer bestimmten Methode zur Bestimmung des PaCO₂ während der Hypothermie gibt es nur limitierte Evidenz. Die Empfehlungen zur Verwendung eines temperatur- oder nichttemperaturkorrigierten Ansatzes zur Messung von Blutgasen basieren auf Expertenmeinungen [109].

Die Empfehlung für das Atemzugvolumen basiert auf den aktuellen Leitlinien für die protektive Beatmungsstrategie auf Intensivstationen [110] und begrenzten Beobachtungsdaten von Patienten nach Kreislaufstillstand [111]. Eine Beobachtungsstudie legt nahe, dass ein Atemzugvolumen von 6 bis 8 ml/kg zur Beatmung der Lunge von Patienten nach Kreislaufstillstand mit einem besseren Ergebnis verbunden sein kann [111]. Diese Studie zeigt auch, dass durch Verwendung einer höheren Beatmungsfrequenz eine Normokapnie erreicht werden kann [111].

Kreislauf

Koronare Reperfusion

Perkutane Koronarintervention nach ROSC mit ST-Hebung. Arrhythmien, die durch Myokardischämie verursacht werden, sind die häufigste Ursache für den plötzlichen Herztod (SCD) bei Erwachsenen [112, 113]. Die Methode der sofortigen Reperfusion der verursachenden Koronarläsion mittels perkutaner Koronarintervention (PCI) wird seit mehr als 20 Jahren angewendet. Sie wird durch viele Beobachtungsstudien gestützt, die einen signifikanten Zusammenhang zwischen der frühen perkutanen koronaren Intervention (PCI) und der Überlebensrate sowie dem günstigen neurologischen Outcome nach einem prähospitalen Kreislaufstillstand berichteten. Während der Nutzen einer frühen PCI bei einem prähospitalen Kreislaufstillstand, der durch einen kürzlich aufgetretenen Koronarverschluss verursacht wurde, allgemein anerkannt ist, besteht die wesentliche Herausforderung darin, die besten Kandidaten für eine Koronarangiographie (CAG) unter allen reanimierten Patienten zu ermitteln. Unter den Patienten mit ST-Streckenhebung (STE) oder Links-

schenkelblock (LBBB) weisen mehr als 80 % eine akute Koronarläsion im Post-ROSC-Elektrokardiogramm auf [114]. Ein systematisches Review, welches für die ILCOR CoSTR 2015 durchgeführt wurde, identifizierte 15 Beobachtungsstudien mit 3800 Patienten, die einen Mortalitätsvorteil bei durchgeführter Herzkatheteruntersuchung, gegenüber verzögerter oder keiner Herzkatheterisierung, bei Patienten mit ROSC nach Kreislaufstillstand mit Anzeichen von STE im EKG zeigten [115]. Die Behandlungsempfehlung aus dem Jahr 2015 lautete, bei ausgewählten erwachsenen Patienten mit ROSC nach OHCA mit Verdacht auf kardialen Ursprung mit ST-Hebung im EKG eine sofortige notfallmäßige Herzkatheteruntersuchung durchzuführen, anstelle damit bis zu einem späteren Zeitpunkt zu warten oder ganz darauf zu verzichten (starke Empfehlung, wenig sichere Evidenz). In den Leitlinien der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie zur Behandlung des akuten Myokardinfarkts mit ST-Streckenhebung von 2017 heißt es: „Bei Patienten mit reanimiertem Kreislaufstillstand und einem mit STEMI übereinstimmenden EKG wird eine primäre PCI-Strategie empfohlen“ [116].

Perkutane Koronarintervention nach ROSC ohne ST-Hebung. Bei Patienten mit OHCA ohne ST-Streckenhebung zeigten mehrere große Beobachtungsreihen, dass das Fehlen einer ST-Streckenhebung das Vorhandensein eines kürzlich aufgetretenen Koronarverschlusses nicht vollständig ausschließt [117]. Daher soll die Entscheidung für eine frühe Koronarangiographie auf einer sorgfältigen Beurteilung des Patienten hinsichtlich des Vorhandenseins einer hämodynamischen oder elektrischen Instabilität und einer anhaltenden Myokardischämie beruhen, wobei mehrere Faktoren zu berücksichtigen sind, darunter Anamnese, Warnsymptome vor dem Stillstand, initialer Herzrhythmus des Cardiac Arrest, [118] EKG-Muster nach ROSC und Echokardiographie sowie Komorbiditäten. Wenn eine ischämische Ursache als wahrscheinlich angesehen wird, soll ein ähnlicher Ansatz wie bei Patienten mit STEMI verfolgt

werden. Bei Patienten mit einer geringen Wahrscheinlichkeit für eine ischämische Ursache des Kreislaufstillstands kann eine Verzögerung der Koronarangiographie um einige Stunden oder Tage Zeit für die Erstbehandlung auf der Intensivstation verschaffen, was eine frühzeitige Einleitung der hämodynamischen Optimierung, Schutzbeatmung und TTM ermöglicht. Im Sinn dieses Wait-and-see-Managements kann auch die Durchführung einer Koronarangiographie bei Patienten mit der geringsten Wahrscheinlichkeit einer akuten Koronarläsion eventuell umgangen werden. Diese beiden Strategien (frühe versus verzögerte Koronarangiographie) wurden bei Patienten mit VF-Arrest und ohne Schock in einer randomisierten kontrollierten Studie evaluiert. Es zeigte sich kein Unterschied im 90-Tage-Überleben, dem primären Ergebnis (Odds Ratio 0,89; 95 %-Konfidenzintervall [CI] 0,62–1,27; $P=0,51$; [11]). In dieser Studie betrug die mittlere Zeit bis zur Zieltemperatur 5,4 h in der Gruppe mit sofortiger Angiographie und 4,7 h in der Gruppe mit verzögerter Angiographie (Verhältnis der geometrischen Mittelwerte 1,19; 95 % CI 1,04–1,36). Eine andere kürzlich veröffentlichte randomisierte kontrollierte Pilotstudie, die die frühzeitige mit der verzögerten Durchführung einer Koronarangiographie verglich, zeigte ebenfalls keinen Unterschied im primären Studienergebnis, welches sich aus Wirksamkeits- und Sicherheitsparametern zusammensetzte [119]. Weitere Studien zur Untersuchung dieser Hypothese sind aktuell am Laufen (DISCO NCT02309151, COUPe NCT02641626, TOMAHAWK NCT02750462, EMERGENCT02876458). Die 2020 erschienen Leitlinien der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie zur Behandlung von akuten Koronarsyndromen bei Patienten ohne persistierende ST-Streckenhebung empfehlen bei hämodynamisch stabilen Patienten ohne ST-Streckenhebung, nach erfolgreicher Reanimation aus OHCA, die verzögerte Durchführung einer Angiographie anstelle einer sofortigen Angiographie in Betracht zu ziehen [12].

Im Idealfall würden Koronarinterventionen nur bei Patienten ohne dauerhafte schwere neurologische Schädigung

durchgeführt werden. Patienten mit irreversibler hypoxisch-ischämischer Hirnschädigung profitieren wahrscheinlich nicht von einer PCI, selbst wenn die ursächliche Koronarläsion erfolgreich behandelt wird [120]. Das Fehlen eines allgemein akzeptierten prognostischen Vorgehens in den ersten Stunden nach ROSC macht es jedoch unmöglich, diese Patienten mit hoher Sensitivität und Spezifität zum Zeitpunkt der Krankenhauseinweisung zu ermitteln.

Hämodynamische Überwachung und Behandlung

Hämodynamische Überwachung. Bei bis zu 60% der Patienten mit Kreislaufstillstand [33, 121] können nach der Reanimation Myokardfunktionsstörungen und ein niedriger Herzindex auftreten. Bei Patienten mit einem akuten Myokardinfarkt (AMI) als Ursache des Stillstands können diese Symptome noch häufiger auftreten [122]. Eine frühe Echokardiographie kann die zugrundeliegende Herzpathologie identifizieren, den Grad der Myokardfunktionsstörung quantifizieren und bei der Steuerung des hämodynamischen Managements helfen. Serielle Echokardiographien oder invasive Überwachung durch einen Lungenarterienkatheter quantifizieren die Myokardfunktionsstörung und zeigen Trends an [31, 32, 123]. Eine Beeinträchtigung der Herzfunktion tritt am häufigsten in den ersten 24–48 h auf. Danach verschwindet sie allmählich [33, 121]. Ob ein niedriges Herzzeitvolumen (oder ein niedriger Index) mit einem schlechten Outcome verbunden ist, ist derzeit unklar. Eine Teilstudie der TTM-Studie zeigte, dass ein niedriger Herzindex möglicherweise in keiner Verbindung mit dem Outcome steht, wenn die Laktat-Clearance beibehalten wird [124]. Diese Befunde waren unabhängig von der Ziel-Körpertemperatur. Sowohl nichtinvasive als auch invasive Überwachung mittels Echokardiographie, arteriellem Zugang und Messung des Herzzeitvolumens werden üblicherweise auf der Intensivstation durchgeführt. Es ist sinnvoll, dies als Leitfaden für die Behandlung bei Patienten mit Kreislaufstillstand zu verwenden (Best-Practice-Empfehlung).

Hämodynamisches Management.

Mittlerer arterieller Druck und zerebrale Perfusion Ein systematischer Review, welcher für die ILCOR CoSTR 2015 erstellt wurde, suchte nach Studien, in denen die Anpassung der Therapie zum Erreichen eines bestimmten hämodynamischen Ziels gegenüber einem Vorgehen ohne hämodynamisches Ziel verglichen wurde [125]. Bis zu diesem Zeitpunkt konnten nur Beobachtungsstudien erfasst werden [126–130]. Dieser Review identifizierte außerdem Beobachtungsstudien, welche ein spezifisches Vorgehen mit Blutdruckziel mit einem Vorgehen ohne Blutdruckziel verglichen [131–133]. Die CoSTR-Behandlungsempfehlungen für 2015 lauteten:

- Wir empfehlen, hämodynamische Ziele (z.B. MAD, systolischer Blutdruck) während der weiteren Behandlung und als Teil eines Maßnahmenpakets nach der Reanimation zu berücksichtigen (schwache Empfehlung, wenig sichere Evidenz).
- Es gibt nicht genügend Evidenz, um bestimmte hämodynamische Ziele zu empfehlen. Solche Ziele sollen auf individueller Patientenbasis betrachtet werden und werden wahrscheinlich durch den Status nach Kreislaufstillstand und vorbestehende Komorbiditäten beeinflusst (schwache Empfehlung, wenig sichere Evidenz).

Ein Evidenz-Update für dieses Thema wurde in die ILCOR-CoSTR 2020 aufgenommen und umfasste 2 randomisierte kontrollierte Studien [10, 134, 135] und 11 Beobachtungsstudien [124, 136–145], die seit dem systematischen Review von 2015 veröffentlicht wurden [125]. Zwei randomisierte kontrollierte Studien (die 232 Patienten umfassten) verglichen ein Blutdruckziel von 65–75 mm Hg mit 80–100 mm Hg mit [134] und ohne [135] zielgerichteter Optimierung der Herzfunktion. Diese Studien waren nicht auf klinische Ergebnisse ausgerichtet, sondern verwendeten Ersatzmarker wie MRT [134] und NSE für neurologische Schädigungen [135]. Während diese Studien zeigten, dass höhere MAD-Ziele mit Vasopressoren sicher sind und beispielsweise nicht zu Herzrhythmusstörungen führen, konnten sie keine eindeutige

Verbesserung der Surrogatmarker für Hirnschädigungen durch ein höheres MAD-Ziel beweisen.

Neun Beobachtungsstudien ergaben, dass Hypotonie mit einem schlechten Outcome verbunden war [137–142, 144, 145]. Eine Studie ergab, dass die Zeit unterhalb des optimalen MAD (erhoben durch Korrelation zwischen Nahinfrarotspektroskopie und Blutdruck) mit einem schlechten Outcome verbunden war [136]. Eine andere Studie stellte fest, dass ein niedriges Herzzeitvolumen nicht mit einem schlechten Outcome in Verbindung stand [124], während die letzte Studie bessere Ergebnisse bei Patienten nachwies, die Flüssigkeiten anstelle von Vasopressoren zur Erhöhung des MADs erhielten [143]. Diese Beobachtungen sind vergleichbar mit den fünf Beobachtungsstudien, die in den ILCOR-Leitlinien von 2015 enthalten sind [125]. Obwohl Hypotonie (<65 mm Hg) durchweg mit einem schlechten Outcome verbunden ist, haben wir keine sichere Evidenz, um ein optimales MAD-Ziel zu bestimmen.

Der mittlere arterielle Druck (MAD) ist eine der Hauptdeterminanten des zerebralen Blutflusses (CBF; [146]). Wenn gleich bei Patienten mit nicht-anoxischer Hirnschädigung aufgrund einer zerebralen Schwellung und eines erhöhten Hirndrucks (ICP) im Allgemeinen ein hoher MAD erforderlich ist [147], liegen nur wenige Daten zu ICP-Werten von Patienten vor, die einen Kreislaufstillstand überlebt haben. Bei vielen Patienten ist die CBF-Autoregulation nach einem Kreislaufstillstand beeinträchtigt oder die Untergrenze nach rechts verschoben [136, 148]. Dies bedeutet, dass bei niedrigeren MAD-Werten bei einigen Patienten der CBF vom MAD abhängig sein kann und ein erhöhtes Risiko für zerebrale Hypoperfusion oder Hyperämie mit intrakranieller Hypertonie besteht.

Die Überwachung von zerebraler Sauerstoffsättigung oder ICP zur Ermittlung des Vorhandenseins einer Autoregulation und zur Bestimmung eines optimalen MAD kann einen individuelleren Ansatz ermöglichen [149]. In einer retrospektiven Studie betrug der geschätzte optimale MAD (d.h. das MAD-Ziel, bei dem die Autoregulation effektiver ist)

85 mm Hg bei Patienten nach Kreislaufstillstand mit erhaltener Autoregulation und 100 mm Hg, wenn die Autoregulation beeinträchtigt war [136]. Eine weitere kleine Beobachtungsstudie berechnete einen mittleren optimalen MAD von 89 mm Hg unter denselben Umständen [150]. Es gibt jedoch keine prospektiven Studien, in denen bewertet wird, ob ein autoregulationsgesteuertes MAD-Ziel die neurologische Schädigung und/oder das Outcome beeinflussen kann. Eine neuere Studie hat gezeigt, dass nach einem Kreislaufstillstand, insbesondere in Fällen nicht kardialen Ursprungs, Episoden mit erhöhtem ICP und/oder Gehirnhypoxie häufig sind und ein höherer MAD erforderlich ist, um die Sauerstoffversorgung des Gehirns zu verbessern [150]. Vorläufige Ergebnisse, basierend auf der Messung der Sauerstoffanreicherung (PbtO₂) des Gehirngewebes, haben gezeigt, dass bei reanimierten komatösen Patienten eine Beeinträchtigung der Sauerstoffdiffusion trotz Optimierung der Sauerstoffzufuhr zum Gehirn zu einer anhaltenden Gehirnhypoxie führen kann [151]. Die Implementierung und die Sicherheit dieser invasiven Überwachungsinstrumente bei Patienten mit Kreislaufstillstand müssen noch weiter evaluiert werden. Obwohl all dies Beobachtungsergebnisse sind, weisen sie darauf hin, dass optimale MAD-Ziele möglicherweise patientenindividuell interpretiert werden müssen. Außerdem unterstützen sie die Notwendigkeit weiterer Forschung zur Bestimmung optimaler MAD-Ziele für Patienten, die nach einem Kreislaufstillstand auf einer Intensivstation behandelt werden. Der transkranielle Doppler (TCD) kann bei Patienten nach einem Kreislaufstillstand Informationen über die zerebrale Hämodynamik liefern und in Zukunft möglicherweise eine Rolle bei der Optimierung der Hämodynamik dieser Patienten spielen [152]. Mithilfe des TCD können Veränderungen des zerebralen Blutflusses beobachtet werden, was ein Zielparаметer für die Behandlung sein könnte [153–155]. Die Technik und Interpretation dieser Bilder ist jedoch vom Anwender abhängig und erfordert ein ‚akustisches Fenster‘ beim Patienten. Darüber hinaus ändert sich die zerebrale Hämodynamik

kontinuierlich. Serielle Messungen sind nur zeitweise möglich und die Überwachung ist arbeitsintensiv. Basierend auf der von ILCOR zusammengefassten Evidenz [10] raten wir dazu, eine Hypotonie (MAP < 65 mm Hg) zu vermeiden und auf MAP abzielen, um eine angemessene Urinausscheidung (> 0,5 ml kg⁻¹ h⁻¹) sowie normale oder abnehmende Laktatwerte zu erreichen (Best-Practice-Aussage).

Herzfrequenz Tachykardie war in einer retrospektiven Studie mit einem schlechten Outcome verbunden [156]. Während einer milden induzierten Hypothermie ist die normale physiologische Reaktion Bradykardie. In Tiermodellen wurde gezeigt, dass dies die diastolische Dysfunktion reduziert, die normalerweise früh nach einem Kreislaufstillstand auftritt [157]. Bradykardie wurde zuvor als Nebeneffekt angesehen, insbesondere unterhalb einer Rate von 40 Schlägen pro Minute. Es wurde jedoch gezeigt, dass Bradykardie mit einem guten Outcome verbunden ist [158, 159]. Ein ähnlicher Zusammenhang zwischen Bradykardie und verbessertem Outcome wurde bei Patienten gezeigt, die nicht mit TTM behandelt wurden [160].

Sedierung, kontrollierte Beatmung und eine Temperatur zwischen 32 und 36 °C senken den Sauerstoffverbrauch bei Patienten mit Kreislaufstillstand. Obwohl Bradykardie üblicherweise das Herzzeitvolumen verringert, wird dies in der Situation nach Kreislaufstillstand hingenommen. Wir empfehlen, eine Bradykardie (Herzfrequenz < 30–40 min⁻¹) unbehandelt zu lassen, solange keine Anzeichen einer Hypoperfusion vorliegen (d.h. Erhöhung des Laktats, Verringerung der Urinausscheidung usw.; Best-Practice-Empfehlung).

Flüssigkeitsreanimation, vasoaktive und inotrope Medikamente. Es gibt nur begrenzte Evidenz zur Empfehlung einer optimalen Flüssigkeitstherapie nach Kreislaufstillstand. Eine Studie mit invasiver Überwachung (einschließlich Füllungsdrücken) zeigte, dass in den ersten 24 h bis zu 5–7 l Flüssigkeit verabreicht wurden [33]. Eine retrospektive Studie ergab, dass bei einem Behandlungsalgorithmus, der die Puls-Kontur-

Analyse mit kontinuierlichem Herzzeitvolumen (PiCCO) miteinbezogen, größere Flüssigkeitsvolumina (4–5 l während der ersten 24 h) mit einer geringeren Inzidenz von akutem Nierenversagen verbunden waren [161].

Es gibt nur wenig direkte Evidenz für den Vergleich verschiedener vasoaktiver Arzneimittel bei Patienten mit Kreislaufstillstand. Daher basiert diese Empfehlung auf indirekten Belegen von kritisch kranken Patienten im Allgemeinen. Die jüngste Cochrane-Studie zu Vasopressoren bei Schock umfasste 28 randomisierte kontrollierte Studien (*n* = 3497 Patienten) und ergab keinen Mortalitätsvorteil bei einem der 6 untersuchten Vasopressoren. Da Noradrenalin der am häufigsten eingesetzte Vasopressor ist, schlugen die Autoren vor, keine wesentlichen Abweichungen gegenüber der klinischen Praxis vorzunehmen [162]. Wir empfehlen Noradrenalin zur Primärbehandlung von hypotensiven Patienten nach Kreislaufstillstand, da es die am häufigsten verwendete vasoaktive Substanz für Patienten nach Kreislaufstillstand ist. Eine kürzlich durchgeführte randomisierte kontrollierte Studie, bei der an 57 Patienten mit akutem Myokardinfarkt und kardiogenem Schock die Gabe von Noradrenalin und Adrenalin miteinander verglichen werden sollte, wurde vorzeitig abgebrochen, da bei mit Adrenalin behandelten Patienten signifikant öfter ein refraktärer Schock auftrat [163]. In den Pilotversuchen COMACARE und NEUROPROTECT wurde Noradrenalin auch eingesetzt, um höhere MAD-Ziele zu erreichen [134, 135]. Keine der Studien zeigte Hinweise auf relevante Tachykardien, Arrhythmien oder wiederkehrende Schockzustände in der Gruppe mit höherem MAD, obwohl im Vergleich zur Gruppe mit niedrigerem MAD signifikant höhere Noradrenaldosen verwendet wurden. Dies deutet darauf hin, dass Noradrenalin von Patienten nach einem Kreislaufstillstand gut vertragen wird [134].

Eine Myokardfunktionsstörung nach Reanimation erfordert häufig inotrope Unterstützung. Basierend auf Studien-daten ist der Einsatz von Dobutamin das hierfür am meisten etablierte Ver-

fahren [164, 165]. Allerdings verursacht die systemische Entzündungsreaktion, die häufig nach einem Kreislaufstillstand auftritt, auch eine Vasoplegie und schwere Vasodilatation [33]. In der NEUROPROTECT-Studie wurde Dobutamin zur Steigerung des Herzindex in der Gruppe mit höherem MAD eingesetzt. Dies verringerte zwar nicht die neurologische Schädigung, erhöhte aber auch nicht das Ausmaß der Myokardverletzung [134].

Steroide. Das ILCOR führte eine Evidenzaktualisierung zur Verwendung von Steroiden bei Patienten mit Kreislaufstillstand gemäß der Leitlinien für 2020 durch [10]. Drei kleine randomisierte kontrollierte Studien und eine große Beobachtungsstudie haben sich mit der Verwendung von Steroiden bei Patienten nach Kreislaufstillstand befasst [166–169]. Zwei der randomisierten kontrollierten Studien verwendeten Steroide sowohl während der Reanimation bei innenklinischen Kreislaufstillständen als auch nach ROSC [166, 167]. Die erste dieser randomisierten kontrollierten Studien zeigte ein verbessertes Überleben bis zur Entlassung durch eine Kombination aus Methylprednisolon, Vasopressin und Adrenalin während des Kreislaufstillstands und Hydrokortison nach ROSC bei Patienten mit Schock im Vergleich zur Verwendung von nur Adrenalin und Placebo (9/48 [19%] gegenüber 2/52 [4%]; RR 4,87; 95% CI 1,17–13,79; [167]). Die zweite randomisierte kontrollierte Studie zeigte ein verbessertes Überleben bis zur Entlassung mit günstigem neurologischen Outcome durch Methylprednisolon, Vasopressin und Adrenalin während des Kreislaufstillstands und Hydrokortison bei Patienten mit Post-ROSC-Schock im Vergleich zu nur Adrenalin und Placebo (18/130 [9,13%] gegenüber 7/138 [1,5%]; RR 2,94; 95% CI 1,16–6,50; [166]). Nur die dritte randomisierte kontrollierte Studie beschränkte die Verwendung von Steroiden auf die Phase nach der Reanimation; sie zeigte keinen Nutzen der Steroide nach ROSC, umfasste jedoch nur 50 Patienten [169].

Eine Studie wurde kürzlich abgeschlossen, aber noch nicht veröffentlicht

(NCT02790788). Das ILCOR empfahl die Durchführung eines systematischen Reviews, sobald die kürzlich abgeschlossene Studie veröffentlicht wird, weswegen seine Behandlungsempfehlung gegenüber 2010 vorerst unverändert bleibt: [170]

- Es gibt nicht genügend Evidenz, um die Verwendung von Kortikosteroiden bei Patienten mit ROSC nach einem Kreislaufstillstand zu befürworten oder zu widerlegen.

Solange es keine Evidenz von höherer Sicherheit gibt, empfehlen wir, dass Patienten nach einem Kreislaufstillstand nicht routinemäßig Steroide verabreicht werden (schwache Empfehlung, wenig sichere Evidenz).

Kalium. Eine Hyperkaliämie tritt unmittelbar nach einem Kreislaufstillstand häufig auf. Die anschließende endogene Katecholaminfreisetzung und Korrektur der metabolischen und respiratorischen Azidose fördert den Transport von Kalium nach intrazellulär, was zu einer Hypokaliämie führt. Eine Hyperkaliämie in der Zeit nach dem Kreislaufstillstand ist mit einem schlechteren Outcome verbunden [171]. Eine Hypokaliämie kann andererseits zu ventrikulären Arrhythmien führen. Basierend auf diesen Beobachtungsstudien schlagen wir vor, Kalium so zu verabreichen, dass die Serumkaliumkonzentration zwischen 4,0 und 4,5 mmol L⁻¹ gehalten wird (Best-Practice-Empfehlung).

Mechanische Kreislaufunterstützung.

Wenn die Behandlung mit Volumen, Inotropika und Vasoaktiva zur Unterstützung der Perfusion nicht ausreicht, sollen Sie das Einbringen eines mechanischen Hilfsmittels zur Kreislaufunterstützung in Betracht ziehen (z. B. IMPELLA, Abiomed, USA; [129, 172, 173]). Eine Studie ergab, dass 10–15% der Patienten mit OHCA und anhaltendem kardiogenem Schock letztendlich eine mechanische Kreislaufunterstützung benötigen [174]. Bei Patienten mit kardiogenem Schock ohne Kreislaufstillstand befürworten einige Zentren immer noch die Verwendung einer intraaortalen Ballonpumpe (IABP), obwohl die

IABP-SHOCK-II-Studie bei Verwendung einer IABP keine Verbesserung der 30-Tage-Mortalität bei Patienten mit Myokardinfarkt und kardiogenem Schock zeigte [175, 176]. Eine kürzlich durchgeführte kleine randomisierte kontrollierte Studie fand keinen Unterschied im Outcome von Patienten mit akutem Myokardinfarkt und kardiogenem Schock, wenn entweder mit einem IMPELLA-Gerät oder einer IABP behandelt wurde [177]. Eine weitere retrospektive Studie, in die nur Patienten nach Kreislaufstillstand eingeschlossen waren, ergab keinen Unterschied im klinischen Ergebnis, jedoch eine höhere Blutungshäufigkeit bei Verwendung von IMPELLA verglichen mit IABP [172]. Bisher scheint die Evidenz, welcher Typ von mechanischer Unterstützung überlegen ist, unklar zu sein. Daher soll über ihre Verwendung von Fall zu Fall entschieden werden.

Die ESC-Leitlinien für die Behandlung von Patienten mit ventrikulären Arrhythmien und die Prävention des plötzlichen Herztods von 2015 enthalten die folgende Empfehlung für die Verwendung mechanischer Kreislaufunterstützung: Linksventrikuläre Unterstützung oder arteriovenöse extrakorporale Membranoxygenierung sollen auch bei hämodynamisch instabilen Patienten mit akutem Koronarsyndrom (ACS) und rezidivierender ventrikulärer Tachykardie (VT) oder Kammerflimmern (VF) berücksichtigt werden [178].

Implantierbare Kardioverterdefibrillatoren

Ein implantierbarer Kardioverterdefibrillator (ICD) ist ein Gerät zur Behandlung bestimmter lebensbedrohlicher Arrhythmien. Die Europäische Gesellschaft für Kardiologie hat Leitlinien zu den Indikationen für die ICD-Therapie veröffentlicht [178]. Ein ICD kann zur Primär- oder Sekundärprävention implantiert werden. Ersteres gilt für Personen, bei denen noch keine gefährliche Arrhythmie aufgetreten ist, bei denen jedoch ein hohes Risiko für eine solche besteht. Diese Gruppe umfasst Patienten mit Kardiomyopathien, vererbten primären arrhythmischen Syndromen, angeborenen Herzerkrankungen, aber

auch Personen mit primären Arrhythmien in strukturell normalen Herzen [179, 180]. Die Sekundärprävention bezieht sich auf die Patienten, die bereits ein gefährliches arrhythmisches Ereignis überlebt haben und dem Risiko weiterer Vorkommnisse ausgesetzt sind. Eine sorgfältige Selektion der Patienten ist erforderlich, um diejenigen zu bestimmen, die von einer ICD-Implantation profitieren können und deren Leben durch Vorbeugung eines arrhythmischen plötzlichen Herztods verlängert werden kann.

Neurologisches Defizit (Optimierung der neurologischen Erholung)

Kontrolle von Krampfanfällen

Krampfanfälle werden bei 20–30% der Patienten mit Kreislaufstillstand auf der Intensivstation berichtet und sind normalerweise ein Zeichen für eine schwere hypoxisch-ischämische Hirnschädigung. Krampfanfälle können als klinische Krämpfe (klinischer Krampfanfall) und/oder als typische Aktivität im EEG (elektrographischer Krampfanfall) beobachtet werden.

Myoklonien sind plötzliche, kurze, schockartige, unwillkürliche Muskelkontraktionen. Sie stellen die bei Weitem häufigste Art von klinischem Anfall bei Patienten nach Kreislaufstillstand dar [181, 182]. Sie sind häufig generalisiert, können jedoch fokal (periodisches Öffnen der Augen, Schlucken, Zwerchfellkontraktionen usw.) oder multifokal auftreten [183]. Sie entwickeln sich typischerweise in den ersten 1–2 Tagen nach dem Kreislaufstillstand und sind häufig bereits während der ersten Tage rückläufig. Sie werden mit einer schlechten Prognose in Verbindung gebracht. Einige Patienten überleben jedoch mit einem guten Ergebnis [184, 185]. Die meisten posthypoxischen Myoklonien haben einen kortikalen Ursprung [186]. Das EEG zeigt bei einem wesentlichen Anteil der Patienten synchrone, zeitlich begrenzte Entladungen oder Burst-Suppression-Muster [184].

Auch fokale und generalisierte tonisch-klonische Anfälle können nach einem Kreislaufstillstand auftreten. Es

ist nicht ungewöhnlich, dass bei einem einzelnen Patient mehrere Anfallssubtypen auftreten [181].

Das Lance-Adams-Syndrom ist eine weniger häufige Form des Myoklonus, das sich normalerweise bei Patienten entwickelt, welche das Bewusstsein wiedererlangt haben [187, 188]. Es tritt häufiger nach einem hypoxischen Kreislaufstillstand auf und betrifft hauptsächlich die Extremitäten, wo es durch gezielte Aktionen oder sensorische Stimulation induziert wird. Es kann invalidisierend sein und wird oft chronisch [185].

Teile der Evidenz für diese Leitlinie sind in einem systematischen Review enthalten, der in die ILCOR 2015 CoSTR einfließ [125] und im Jahr 2020 aktualisiert wurde [10]. Die aktualisierten Behandlungsempfehlungen für 2020 lauten:

- Wir empfehlen eine Anfallsprophylaxe bei erwachsenen Überlebenden nach Kreislaufstillstand (schwache Empfehlung, sehr wenig sichere Evidenz).
- Wir empfehlen die Behandlung von Anfällen bei erwachsenen Überlebenden nach Kreislaufstillstand (schwache Empfehlung, sehr wenig sichere Evidenz).

Studien mit kontinuierlicher EEG-Überwachung zeigen, dass die epileptiforme Aktivität und klinischen Krämpfe gleichermaßen häufig sind und dass es eine erhebliche Überlappung gibt [189]. Die Bewertung elektrographischer Anfälle wird häufig durch gleichzeitige Vorliegen von Hirnschädigungen, metabolischen Faktoren und Sedierung erschwert, wodurch klinische Korrelate und Auswirkungen der Behandlung schwerer zu bewerten sind. Neue Definitionen des elektrographischen Status epilepticus wurden kürzlich von der American Clinical Neurophysiology Society (ACNS) veröffentlicht [190]. Das ACNS verwendet strenge und konservative Kriterien, die von Patienten nach einem Kreislaufstillstand normalerweise nicht erfüllt werden [189]. Stattdessen weisen die meisten dieser Patienten EEG-Muster auf, die abhängig von der jeweiligen EEG-Interpretation als elektrographische „Anfälle“ oder, bei längerer Dauer als „Status epilepticus“ definiert werden können.

Sedativa sind sehr effektiv beim Unterdrücken von Krampfanfällen und werden zur Behandlung des Status epilepticus als Third-line-Therapie empfohlen. Bei Patienten unter mechanischer Beatmung und/oder unter TTM-Behandlung werden Propofol und Benzodiazepine routinemäßig in den ersten Tagen nach Kreislaufstillstand eingesetzt. Diese Substanzen unterdrücken dosisabhängig klinisch erkennbare Myokloni sowie epileptiforme Aktivität im EEG [191, 192]. Die Anfallsaktivität kann während des gezielten Aussetzens der Sedierung demaskiert werden. Es gibt nur begrenzte Hinweise darauf, dass herkömmliche Antiepileptika (in erster Linie Valproat und Levetiracetam) die epileptische Aktivität im EEG von Patienten nach Kreislaufstillstand unterdrücken [193]. Diese Substanzen unterdrücken jedoch Myokloni anderer Ursachen [194]. Phenytoin und Fosphenytoin werden noch immer verbreitet zur Behandlung des Status epilepticus eingesetzt. Bei Patienten nach Kreislaufstillstand sind sie jedoch aufgrund ihrer negativen inotropen und vasodilatierenden Wirkung nur eingeschränkt geeignet [195]. In einer kürzlich publizierten Studie waren Valproat, Levetiracetam und Fosphenytoin zur Beendigung des konvulsiven Status epilepticus gleich wirksam, wobei Fosphenytoin vermehrt hypotensive Episoden verursachte [13].

Für den prophylaktischen Einsatz von Antiepileptika nach Kreislaufstillstand gibt es derzeit keine Grundlage. Studien zu den Effekten von Bolusgaben von Thiopental [196] sowie von Diazepam/Magnesium [197] nach erfolgreicher Wiederbelebung zeigten keine Vorteile hinsichtlich Überleben oder neurologischer Funktion, allerdings zielten diese Studien auf die Untersuchung von Neuroprotektion (und nicht auf die Unterdrückung von Krampfanfällen). Bisher wurde keine randomisierte Studie durchgeführt, ob die Behandlung von klinisch aufgetretenen oder elektrographisch nachgewiesenen Anfällen das Patienten-Outcome verändert. Aktuell läuft allerdings eine multizentrische Studie zur aggressiven Behandlung des postanoxischen Status epilepticus [198]. Verschiedene Fallserien berichten, dass 4–44%

der Patienten mit postanoxischem Status epilepticus ein gutes Outcome erreichten [199–202]. Diese Patienten wurden in der Regel mit mehreren Antiepileptika behandelt und durchliefen eine verzögerte Aufwachphase, oft über zwei Wochen hinaus.

Das EEG ist ein wichtiges Instrument zum Nachweis von epilepsiespezifischen Potenzialen bei Patienten mit klinisch sichtbaren Krampfanfällen sowie zum Überwachen der Behandlung. Beispielsweise kann das im Rahmen einer TTM-Therapie auftretende Kältezittern als Krampfanfall fehlgedeutet werden. Die aktive Behandlung des Status epilepticus erfordert im Allgemeinen wiederholte Routine-EEG oder eine kontinuierliche EEG-Überwachung. Ein Vorteil für die kontinuierliche EEG-Überwachung im Vergleich mit Routine-EEG konnte allerdings bisher nicht gezeigt werden. Kontinuierliches EEG-Monitoring ist arbeitsintensiv und verursacht in der Regel relevante Zusatzkosten für die Versorgung. Daher ist die Kosten-Nutzen-Bewertung dieses Vorgehens umstritten und kann stark von den Rahmenbedingungen abhängen [203, 204].

Da postanoxische Krampfanfälle und Status epilepticus als Zeichen einer hypoxisch-ischämischen Hirnschädigung gewertet werden, ist die Einschätzung der Prognose hinsichtlich eines günstigen Outcomes zentraler Bestandteil der Behandlungsstrategie. Die EEG-Grundaktivität ist dabei von Bedeutung, allerdings kann deren Beurteilung schwierig sein, wenn z. B. begleitend überschießende Entladungen auftreten. Eine kontinuierliche, normale Spannung und reaktive Grundaktivität im EEG sind prognostisch günstige Kriterien, während ein Burst-Suppression-Muster oder eine spannungsarme Grundaktivität ohne Reaktivität mit einer ungünstigen Prognose assoziiert sind [184, 202]. Das frühzeitige Einsetzen (<24 h) elektrographischer Anfälle vor der Rückkehr einer kontinuierlichen Grundaktivität ist mit einer schlechteren Prognose verbunden [200, 205, 206]. Bei diesen Patienten wird das EEG häufig durch die laufende Therapie beeinflusst. Für diese Situationen wird daher die zusätzliche Abschätzung der Hirnschädigung empfohlen, unter

Einsatz von Methoden, die wenig oder gar nicht von Sedativa und Antiepileptika beeinflusst werden. Dies sind z. B. somatosensorisch evozierte Potenziale, NSE im Serum und neuroradiologische Untersuchungen (vorzugsweise MRT).

Krampfanfälle können die zerebrale Stoffwechselaktivität steigern und die durch den Kreislaufstillstand bedingte Hirnschädigung verstärken: Krampfanfälle sollen mit Levetiracetam und/oder Valproinsäure behandelt werden. Mögliche Wechselwirkungen mit anderen Medikamenten sind zu beachten. Schon nach dem Erstereignis soll mit der Erhaltungstherapie begonnen werden. Weitere Behandlungsoptionen sind Perampanel, Zonisamid oder Topiram. Zur Unterdrückung von Myokloni und elektrographisch nachgewiesenen Krampfpotenzialen kann die Steigerung der Propofol-Dosierung oder die Gabe von Benzodiazepinen erwogen werden. Bei ausgewählten Patienten können Thiopental oder Phenobarbital in Betracht gezogen werden.

Die hochdosierte Behandlung mit Sedativa und konventionellen Antiepileptika kann das Aufwachen verzögern sowie die Dauer der mechanischen Beatmung und die Verweildauer auf der Intensivstation verlängern [207]. Es gilt zu bedenken, dass ein generalisierter Myoklonus in Kombination mit epileptiformen Entladungen ein frühes Zeichen eines Lance-Adams-Syndroms sein kann, welches mit einem guten neurologischen Ergebnis vereinbar ist [184, 187]. In solchen Fällen kann eine aggressive Behandlung die klinischen Untersuchungsergebnisse verschleiern und eine fälschlicherweise ungünstige Prognosestellung zur Folge haben.

Temperaturkontrolle

Für den CoSTR 2015 wurde ein umfassendes systematisches Review zum Targeted Temperature Management (TTM) durchgeführt [125, 208–210]. Nach erneuter Überprüfung der verfügbaren Evidenz für das CoSTR 2020 blieben diese ILCOR-Empfehlungen gegenüber 2015 unverändert [10].

- Wir empfehlen die Wahl und Aufrechterhaltung einer konstanten Zieltemperatur zwischen 32 °C und

36 °C für Patienten, bei denen TTM eingesetzt wird (starke Empfehlung, moderates Evidenzniveau). Es ist unbekannt, ob ausgewählte Subpopulationen von niedrigeren (32–34 °C) oder höheren (36 °C) Temperaturen profitieren könnten; weitere Untersuchungen dürften zur Aufklärung beitragen.

- Wir empfehlen die Anwendung von TTM anstelle von keinem TTM für Erwachsene nach OHCA mit initial schockbarem Rhythmus, wenn sie nach ROSC bewusstlos bleiben (starke Empfehlung, niedriges Evidenzniveau).
- Wir raten zur Anwendung von TTM anstelle von keinem TTM für Erwachsene nach OHCA mit initial nicht-schockbarem Rhythmus, die nach ROSC bewusstlos bleiben (schwache Empfehlung, sehr niedriges Evidenzniveau).
- Wir raten zum TTM anstelle von keinem TTM, für erwachsene Patienten nach intrahospitalem Kreislaufstillstand (IHCA) bei allen initialen Rhythmen, wenn es zu keiner neurologischen Reaktion nach ROSC kommt (schwache Empfehlung, sehr niedriges Evidenzniveau).
- Wir raten im Fall des Einsatzes von TTM zu einer Behandlungsdauer von mindestens 24 h (schwache Empfehlung, sehr niedriges Evidenzniveau).
- Wir sprechen eine Empfehlung gegen die routinemäßige Anwendung von prähospitaler Kühlung mittels rascher Gabe großer Mengen kalter Infusionslösungen unmittelbar nach ROSC aus (starke Empfehlung, moderates Evidenzniveau).
- Wir empfehlen die Verhinderung von Fieber sowie dessen Behandlung bei anhaltend komatösen Erwachsenen nach Abschluss der TTM zwischen 32 und 36 °C (schwache Empfehlung, sehr niedriges Evidenzniveau).

Behandlung von Fieber. Die Definition von Fieber variiert zwischen verschiedenen Studien und meist wird die spezifische Ursache des Fiebers nicht angegeben (wie z. B. Ischämie-Reperfusion, neurogenes Fieber, Infektion). Eine große Beobachtungsstudie, in der konsekutive

Messungen der Mundhöhlentemperatur bei mehr als 35.000 gesunden Erwachsenen durchgeführt wurden, ergab als mittlere Körpertemperatur in der Mundhöhle 36,6 °C (99% range: 35,3–37,7 °C; [211]). Eine brauchbare Definition für Fieber ist von daher eine Körpertemperatur über 37,7 °C, wie sie auch in einer aktuellen großen randomisierten Studie zum Kreislaufstillstand verwendet wurde [15]. Allerdings beruht diese Messung bei kritisch kranken Patienten üblicherweise auf der gemessenen Körperkerntemperatur (Blut, Blase, Speiseröhre) und erlaubt nur eine Schätzung der Gehirntemperatur, welche um 0,4 K bis 2,0 K höher liegen kann [212].

Fieber tritt in den ersten 2–3 Tagen nach Kreislaufstillstand häufig auf und ist in Beobachtungsstudien mit schlechteren Ergebnissen assoziiert [213]. Fieber nach TTM (Induktion einer Hypothermie von 32–36 °C) wird auch als Rebound-Hyperthermie bezeichnet und ist mit schlechteren Ergebnissen assoziiert, insbesondere bei hohen Temperaturen [214, 215]. Es ist allerdings ungeklärt, ob Fieber zu einem schlechten neurologischen Ergebnis beiträgt oder nur ein Marker für eine schwere Hirnschädigung ist. Bisher existiert keine Vergleichsstudie zwischen einer kontrollierten Normothermie (Einhalten einer Zieltemperatur von unter 37,8 °C) und dem Unterlassen einer Fieberkontrolle.

Gezieltes Temperaturmanagement (TTM).

Kühlung versus Normothermie Eine Metaanalyse zeigte, dass eine induzierte milde Hypothermie neuroprotektiv war und das Outcome nach Kreislaufstillstand in Tiermodellen verbesserte [216]. Die Autoren merkten an, dass die Übertragbarkeit der Ergebnisse schwierig sein könnte, da an größeren (gyrenzephalen) Tieren mit zusätzlichen Komorbiditäten praktisch keine Studien durchgeführt werden. Als allgemein gut akzeptierte Hypothese unterdrückt die Absenkung der Körperkerntemperatur verschiedene schädigende Stoffwechselprozesse bzw. Mediator-kaskaden, welche zum neuronalen Zelltod führen. Die spezifischen Mechanismen der hypothermieinduzierten Neuroprotektion sind bisher

allerdings unklar [217]. Hypothermie reduziert die zerebrale metabolische Rate für Sauerstoff (CMRO₂) um etwa 6% pro 1 K geringerer Körperkerntemperatur. Die Freisetzung von exzitatorischen Aminosäuren und die Produktion von freien Radikalen wird dadurch reduziert [218, 219]. Im Temperaturbereich von 33 bis 36 °C lässt sich allerdings bei Erwachsenen kein Unterschied in der entzündlichen Zytokinausschüttung nachweisen [220].

Alle Studien zur induzierten milden Hypothermie (TTM) nach Kreislaufstillstand untersuchten ausschließlich Patienten mit eingeschränktem Bewusstsein (GCS <9). Je eine randomisierte und eine quasi-randomisierte Studie zeigten ein verbessertes neurologisches Überleben bei Krankenhausentlassung oder nach 6 Monaten bei komatösen Patienten nach einem OHCA mit initial schockbarem Rhythmus [221, 222]. Die Kühlung wurde innerhalb von Minuten bis Stunden nach ROSC eingeleitet und eine Zieltemperatur von 32–34 °C für 12–24 h aufrechterhalten. Diese beiden Studien markierten einen Meilenstein in der modernen Versorgung nach Kreislaufstillstand. Eine etwas neuere multizentrische Studie aus Frankreich randomisierte 581 erwachsene komatöse Patienten nach einem IHCA oder einem OHCA mit initial nicht-schockbarem Rhythmus (Asystolie bzw. PEA) zur Therapie mit TTM bei 33 °C oder 37 °C für 24 h. [14] Nach Einsatz von TTM bei 33 °C erreichte ein höherer Anteil an Patienten ein günstiges neurologisches Ergebnis am Tag 90, gemessen als Cerebral Performance Category (CPC) von 1–2 (10,2% gegenüber 5,7%; Differenz 4,5%; 95% CI 0,1–8,9; $p=0,04$), während sich die Mortalität nicht unterschied (81,3% gegenüber 83,2%, Differenz –1,9; 95% CI –8,0–4,3). Der Vorteil einer niedrigeren Zieltemperatur war bei Patienten, die schneller einen ROSC erreichten (<15 min), und bei Patienten mit Kreislaufstillstand im Krankenhaus (IHCA) ausgeprägter. Diese Ergebnisse unterscheiden sich von einer früheren retrospektiven Registerstudie mit 1830 Patienten bei nicht-schockbarem OHCA, in der Patienten mit induzierter milder Hypothermie ein im Durchschnitt schlechtes neurologi-

sches Ergebnis erreichten (korrigierte OR 1,44 [95% CI, 1,04–2,01]) [223]. Die aktuell noch laufende „TTM2-Studie“ vergleicht eine gezielte Hypothermie von 33 °C mit einer strikten Normothermie (<37,8 °C) über eine 40-stündige Interventionsperiode bei 1900 Patienten nach einem OHCA [15].

Zeitpunkt der Einleitung einer Kühlungsbehandlung Tierexperimentelle Daten legen nahe, dass ein TTM möglichst rasch eingeleitet werden soll [224], obwohl Verzögerungen von einigen Stunden bei verschiedenen Tierarten neuroprotektiv zu sein scheinen [216]. Einige RCT untersuchten eine frühe Kühlung mit Beginn bereits prähospital direkt nach ROSC [225, 226]. Zwar konnte die Zieltemperatur so schneller erreicht werden als mit dem Beginn der Kühlung im Krankenhaus, aber ein signifikanter Einfluss auf das Patienten-Outcome wurde nicht gefunden. Darüber hinaus fand sich in einer der Studien bei der Verwendung kalter Flüssigkeiten eine erhöhte Inzidenz an erneuten prähospitalen Kreislaufstillständen sowie eine erhöhte Inzidenz an Lungenödemem bei Krankenhausaufnahme [227].

Intraarresthypothermie (bereits während der CPR begonnen) wurde als effektive Methode zur Einleitung eines TTM vorgeschlagen; allerdings führte die Verwendung von kalten Flüssigkeiten während der CPR in einer großen RCT an OHCA-Patienten zu keiner Verbesserung des Reanimationsergebnisses. Bei Patienten mit initial schockbarem Rhythmus wurde sogar eine verringerte ROSC-Rate gefunden [227]. Eine kleine Machbarkeitsstudie [228] und eine RCT [229] haben die Verwendung einer transnasalen Verdunstungskühlung untersucht, unter der Vorstellung, bei OHCA-Patienten eine schnelle Abkühlung im Gehirn zu induzieren. Beide Studien berichteten über keine signifikante Verbesserung der Reanimationsergebnisse, obwohl in der letzteren Studie eine Post-hoc-Analyse ein verbessertes neurologisches Ergebnis nach 90 Tagen für eine Subgruppe von Patienten zeigte, bei denen ein initial schockbarer Rhythmus vorlag und bei denen die Abkühlung in weniger als 20 min nach dem Kollaps eingeleitet wurde [229, 230].

Optimale Zieltemperatur während der Kühlungsbehandlung Die Studie „Targeted Temperature Management nach Cardiac Arrest“ (TTM-Studie) randomisierte 950 OHCA-Patienten mit initial schockbaren sowie mit nichtschockbaren Rhythmen. Die Behandlung umfasste eine 36-stündige Temperaturkontrolle (28h bei Zieltemperatur, gefolgt von langsamer Wiedererwärmung) sowie Fieberkontrolle bis zu 72h nach Randomisierung; die beiden Zieltemperaturen während der Interventionsphase betragen 33 °C und 36 °C [30]. Zur Einschätzung der Prognose und zum Absetzen der lebenserhaltenden Behandlung (WLST) wurden strenge Protokolle befolgt. Für den primären Endpunkt wurde kein Unterschied gefunden (Gesamt mortalität; Hazard Ratio 1,06; 95% CI 0,89–1,28), ebenso fand sich für das neurologische Outcome nach 6 Monaten kein Unterschied (relatives Risiko 1,02 [0,88–1,16]). Neurologisches Ergebnis und kognitives Funktionsniveau waren ebenfalls ähnlich [231, 232], ebenso wie die Biomarkerwerte für Hirnschädigung [233, 234]. TTM bei 33 °C war assoziiert mit verringerter Herzfrequenz, erhöhtem Laktat, höherem Bedarf an Vasopressoren und höherem erweiterten kardiovaskulären SOFA-Score (im Vergleich zu TTM bei 36 °C; [139, 235]). In einer kleinen dreiarmigen randomisierten Studie wurden 32 °C mit 33 °C und 34 °C verglichen. Es fand sich kein Unterschied im neurologischen Ergebnis, gemessen als modifizierter Rankin-Score (mRS) von 0–3 am Tag 90 (62,3%; 95% CI 48,3–76,6 vs. 68,2%; 95% CI 52,4–81,4 vs. 65,1%; 95% CI 49,0–79,0; [236]).

Seit der Veröffentlichung der vorherigen Leitlinien (2015) haben viele Einrichtungen ihr Routineverfahren auf eine Zieltemperatur von 36 °C angepasst [237, 238]. Es wurde berichtet, dass eine Änderung auf 36 °C zu einer schlechteren Temperaturkontrolle und häufigerem früheren Fieber geführt hat [239], aber es gibt andere Berichte, die eine gute Einhaltung eines 36 °C-Protokolls und einen möglichen klinischen Vorteil wie früheres Erwachen und geringeren Einsatz von Sedativa belegen [240]. Ergebnisse aus 2 großen Registerstudien, eine

aus dem CARES-Register in den USA [241] und eine aus dem australischen und neuseeländischen ANZICS-CORE-Zentrum [242] weisen darauf hin, dass es nach der Veröffentlichung der TTM-Studie zu einem breiten Praxiswandel beim TTM gekommen ist: Es wurden höhere Minimaltemperaturen auf der Intensivstation und ein reduzierter Einsatz von TTM beobachtet. Darüber hinaus nahm das Überleben ab, was jedoch statistisch nicht mit einer verminderten Verwendung von TTM assoziiert war [241]. In dieser Gesamtsituation ist daher die optimale Temperatur während einer induzierten milden Hypothermie unbekannt. Weitere, qualitativ hochwertige Studien mit großer Fallzahl sind zur Klärung erforderlich [243].

Dauer der Kühlungsbehandlung Die optimale Dauer für eine induzierte milde Hypothermie bzw. TTM ist unbekannt, obwohl die Hypothermie in den meisten Fällen für 24h durchgeführt wird. Frühere Studien behandelten Patienten mit 12–28h TTM [30, 221, 222]. Zwei Beobachtungsstudien ergaben keinen Unterschied in den Ergebnissen nach 24h im Vergleich zu 72h TTM [244, 245]. Eine kürzlich durchgeführte randomisierte Studie ($n = 351$) untersuchte TTM bei 33 °C während 48 bzw. 24h bei bewusstlosen Patienten nach OHCA [246]. Zwischen den Gruppen ergab sich kein signifikanter Unterschied hinsichtlich eines schlechten neurologischen Ergebnisses (absoluter Unterschied 4,9%; relatives Risiko (RR) für CPC 1–2 nach 6 Monaten 1,08; 95% CI 0,93–1,25). Unerwünschte Ereignisse traten häufiger in der Gruppe mit längerer Kühlungsbehandlung auf (RR 1,06; 95% CI 1,01–1,12).

Kontraindikationen für ein gezieltes Temperaturmanagement (TTM). Innerhalb des empfohlenen TTM-Bereichs von 32 bis 36°C gibt es nur wenige anerkannte Kontraindikationen, wenn überhaupt. Ergebnisse einer Post-hoc-Analyse der TTM-Studie legen nahe, dass beim Auftreten einer schweren kardiovaskulären Beeinträchtigung bei 33 °C die Zieltemperatur angehoben werden könnte [235].

Weitere Therapien zur Verbesserung des neurologischen Ergebnisses

Im Gegensatz zu einer Reihe positiver experimenteller Studienergebnisse zu mehreren Neuroprotektiva [21] zeigten klinische Studien keinen positiven Effekt [167, 196, 197, 247–250]. Auch in jüngerer Zeit konnte weder für Erythropoetin [251], noch Cyclosporin [252] oder Exenatide [253], entweder als alleinige Therapie oder als Ergänzung zum TTM, eine Verbesserung des neurologisch intakten Überlebens gezeigt werden. Die Kombination von Xenon und induzierter milder Hypothermie, welche sich im experimentellen Kontext als vorteilhaft und gegenüber der induzierten milden Hypothermie allein als überlegen gezeigt hat [21, 254], wurde in mehreren Studien ohne überzeugende Effekte untersucht [255–257] und wird derzeit weiter klinisch evaluiert (XePOHCAS, EudraCT-Nummer 2017-00251432). Darüber hinaus haben volatile Anästhetika in experimentellen Umgebungen [258] und in klinischen Machbarkeitsstudien [259–261] positive Auswirkungen auf die Erholung des Herzens und des Gehirns gezeigt; es fehlen jedoch Outcome-Daten. In jüngster Zeit wurde gezeigt, dass isolierte Schweinehirnzellen länger als 4–6h überleben und elektrische Aktivität zeigen können, wenn eine Reperfusion des Gehirns unter Laborbedingungen durchgeführt wurde [262]. Sehr spezifische extrakorporale lebenserhaltende Konzepte (kontrollierte Reperfusion des gesamten Körpers) haben auch nach 15 bis 20 min experimentellen Kreislaufstillstands und auch beim Menschen gutes neurologisches Überleben gezeigt [263, 264]. Diese Konzepte werden derzeit ebenfalls klinisch evaluiert [265].

Allgemeine Intensivbehandlung

Zur prophylaktischen Antibiotikagabe wurde kürzlich ein systematisches Review (mit ILCOR-CoSTR) publiziert [10, 266]. In der ILCOR-Empfehlung heißt es:

- Wir raten von der Gabe prophylaktischer Antibiotika bei Patienten nach ROSC ab (schwacher Empfehlungsgrad, niedriges Evidenzniveau).

Alle weiteren Leitlinien für die intensivmedizinische Basistherapie nach Kreislaufstillstand basieren auf Expertenmeinungen. In der Regel folgt die Post-cardiac-arrest-Behandlung den allgemeinen Grundsätzen in der Intensivmedizin. Einige wenige Unterschiede sind dabei inhärent: Während nur wenige Fragestellungen der allgemeinen Intensivmedizin spezifisch bei Patienten nach Kreislaufstillstand untersucht wurden, sind hingegen Patienten nach Kreislaufstillstand verbreitet in Studien zur allgemeinen Intensivtherapie einbezogen worden. Spezifisch für Patienten nach Kreislaufstillstand sind das Risiko der Hirnschädigung (mit dem Erfordernis einer zerebroprotektiven Behandlung), das häufige Auftreten von Störungen der Myokardfunktion, der Einsatz von Antikoagulanzen und Thrombozytenaggregationshemmern sowie das hohe Risiko einer Aspirationspneumonie. Die typische Verweildauer von Patienten nach Kreislaufstillstand variiert von drei Tagen bis mehreren Wochen wegen der unterschiedlichen Zeit bis zum Erwachen. Dies beeinflusst bestimmte Aspekte der Behandlung, wie z. B. den Beginn und die Durchführung der Ernährung.

Viele Patienten nach Kreislaufstillstand benötigen eine angemessene Sedierung und Schmerzbehandlung, insbesondere die mit TTM Behandelten. Während der TTM kommt es häufig zu Kältezittern – dies kann mit Opioiden und Sedativa behandelt werden. TTM beeinflusst den Metabolismus mehrerer Medikamente, wobei deren Wirkung in der Regel verlängert wird. Eine randomisierte kontrollierte Studie (RCT) hat die Verwendung von Propofol und Fentanyl mit Midazolam und Fentanyl verglichen [267]. In dieser Studie mit 59 Patienten war die Verwendung von Propofol und Remifentanyl mit einer kürzeren Zeit bis zum Aufwachen assoziiert, allerdings war dies mit einem häufigeren Bedarf an Noradrenalin verbunden [267]. Ähnliche Befunde wurden in Beobachtungsstudien erhoben [268]. Unterbrechungen der Sedierung werden am besten nach der Beendigung von TTM und vollständiger Wiedererwärmung eingeleitet.

Die routinemäßige Anwendung von Muskelrelaxanzien hat sich in Beobach-

tungsstudien als vorteilhaft erwiesen, [269, 270] allerdings zeigte eine kleine randomisierte Pilotstudie keinen solchen Nutzen [271]. Für Patienten mit ARDS und kritischer Hypoxämie konnte eine Metaanalyse positive Auswirkungen von Muskelrelaxanzien auf das Ergebnis zeigen [272]. Insofern kann bei Patienten mit kritischer Hypoxämie und ARDS nach Kreislaufstillstand die Verwendung von Muskelrelaxanzien in Betracht gezogen werden, entsprechend der Evidenz für ihre Verwendung beim ARDS. Die Patienten sollen mit Oberkörperhochlagerung von 30° gelagert werden. Dies kann den Hirndruck (ICP) senken und das Risiko einer Aspirationspneumonie verringern. Viele Patienten haben ein hohes Risiko für eine Aspiration und/oder eine beatmungsassoziierte Pneumonie [273]. Eine kürzlich durchgeführte RCT untersuchte den prophylaktischen Einsatz von Antibiotika bei OHCA-Patienten [274]. Zwar zeigte die Studie eine Abnahme an beatmungsassoziierten Pneumonien, allerdings wurden keine Unterschiede für die weiteren klinischen Endpunkte gefunden. Daher werden prophylaktische Antibiotika nicht empfohlen. Antibiotika können jedoch bei eindeutig verdächtigen Infiltraten im Röntgenthoraxbild in Betracht gezogen werden.

Patienten benötigen eine Magensonde zur Entlastung von abdominalen Aufblähungen. Eine kleine Beobachtungsstudie konnte zeigen, dass eine gering dosierte enterale Ernährung während der TTM toleriert wird [275]. Dementsprechend kann die enterale Ernährung während der TTM mit geringen Dosen (als trophische Ernährung) eingeleitet werden und gegebenenfalls nach der Wiedererwärmung gesteigert werden. Bei TTM mit einer Zieltemperatur von 36 °C können die enteralen Portionen frühzeitig während der TTM gesteigert werden.

Die routinemäßige Ulkusprophylaxe bei Intensivpatienten verringert die Mortalität nicht [276, 277]. Eine kürzlich durchgeführte Metaanalyse zeigte jedoch, dass bei Hochrisikopatienten die Anwendung der Ulkusprophylaxe die gastrointestinale Blutungsrate verringerte [278]. Patienten nach Kreislaufstillstand haben wahrscheinlich ein

höheres Ulkusrisiko als allgemeine Intensivpatienten, da sie sowohl vor als auch nach dem Stillstand Antikoagulanzen und Thrombozytenaggregationshemmer erhalten [279]. Daher erscheint eine Ulkusprophylaxe bei Patienten nach Kreislaufstillstand sinnvoll, insbesondere bei Patienten mit Koagulopathien [38].

Sofern Patienten nicht bereits aufgrund von Myokardischämien Antikoagulation erhalten, wird bei kritisch kranken Patienten die Prophylaxe von tiefen Venenthrombosen (TVT) empfohlen [280, 281]. Der Einsatz von Thrombozytenaggregationshemmern verhindert TVT nicht [282]. Patienten nach OHCA haben ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung von TVT, insbesondere während einer TTM-Behandlung [283]. Diese treten bei einer invasiven TTM-Behandlung häufiger auf, wahrscheinlich infolge der Katheterplatzierung in der V. femoralis [284]. Zur TVT-Prophylaxe nach Kreislaufstillstand existiert keine spezifische Evidenz. Daher soll die Behandlung individualisiert erfolgen und auf allgemeinen intensivmedizinischen Empfehlungen basieren [280].

Hyperglykämien treten nach OHCA häufig auf [171]. Als beste Behandlungsstrategie gilt die kontinuierliche Insulininfusion. Die Leitlinien der American Diabetes Association für 2019 empfehlen für die Mehrheit der Intensivpatienten eine Zielglukose im Bereich von 7,8 bis 10,0 mmol L⁻¹ (140–180 mg dL⁻¹; [285]). Die strenge Glukosekontrolle scheint keinen Nutzen zu bringen und kann mit klinisch relevanten Hypoglykämien einhergehen (<4,0 mmol L⁻¹ entspricht <70 mg dL⁻¹; [286]), was bei kritisch kranken Patienten nachteilig ist [287]. Grundsätzlich werden glukosehaltige Lösungen bei Patienten mit Hirnschädigung nicht empfohlen [288], sie können jedoch zur Behandlung von Hypoglykämien erforderlich sein [287].

Prognosestellung

Etwa zwei Drittel der intrahospitalen Todesfälle bei Patienten nach OHCA sind durch eine hypoxisch-ischämische Hirnschädigung bedingt [26, 27]. In einer Minderzahl sind diese Todesfäl-

le eine direkte Folge der irreversiblen hypoxisch-ischämischen Hirnschädigung, dem Hirntod [289]. Die meisten dieser neurologisch bedingten Todesfälle resultieren jedoch aus dem aktiven Absetzen der lebenserhaltenden Behandlung („withdrawal of life-sustaining treatment“, WLST), wenn aufgrund der Schwere der hypoxisch-ischämischen Hirnschädigung ein Überleben mit schlechtem neurologischen Ergebnis sehr wahrscheinlich ist [29, 290]. Eine gewissenhafte Prognosestellung ist daher unerlässlich, um einerseits unangemessene WLST bei Patienten zu vermeiden, bei denen noch die Chance auf eine klinisch relevante Besserung besteht, und andererseits, um eine sinnlose Behandlung von Patienten mit schweren irreversiblen neurologischen Schäden zu vermeiden.

Outcome-Parameter in Studien zur neurologischen Prognosestellung

Das neurologische Ergebnis nach Kreislaufstillstand wird meistens anhand der Cerebral Performance Categories (CPC) eingestuft [291]. Der CPC wird mittels einer 5-stufigen Skala bewertet: CPC 1 (keine oder minimale neurologische Beeinträchtigung); CPC 2 (geringfügige neurologische Beeinträchtigung); CPC 3 (schwere neurologische Beeinträchtigung); CPC 4 (anhaltender vegetativer Zustand) und CPC 5 (Tod). Ein weiteres verbreitetes Bewertungsinstrument für das Outcome ist der modifizierte Rankin-Score (mRS [292]), der 7 Werte von 0 (keine Symptome) bis 6 (tot) umfasst. Ein ILCOR-Statement von 2018 [293] schlug die Verwendung des mRS anstelle des CPC zur Messung der funktionellen Erholung nach Kreislaufstillstand vor, da der mRS eine bessere Unterscheidung zwischen leichter und mittelschwerer Beeinträchtigung ermöglicht [294, 295] und eine höhere Interrater-Zuverlässigkeit aufweist [296]. Die meisten Studien zur neurologischen Prognose nach Kreislaufstillstand verwenden jedoch immer noch den CPC.

Sowohl aus Gründen der Klarheit als auch zu statistischen Zwecken dichotomisieren Studien zur Vorhersage des neurologischen Ergebnisses in die Kategorien „gut“ oder „schlecht“. Allerdings gibt

es bisher keinen allgemeinen Konsens darüber, was als schlechtes neurologisches Ergebnis bewertet werden soll. Noch bis 2006 gaben die meisten einschlägigen Studien CPC 4 und 5 („vegetativer Zustand“ oder „Tod“) als schlechtes Ergebnis und CPC von 1 bis 3 (von „fehlender“ bis „schwerer“ neurologischer Behinderung) als gutes Ergebnis an. Seither schließen die meisten Studien auch CPC 3 in die schlechten neurologischen Ergebnisse mit ein [297]. Ein kürzlich durchgeführter systematischer Review [16] fand 90 von 94 (96 %) Studien zu neurologischem Outcome nach Kreislaufstillstand, die ein schlechtes neurologisches Ergebnis als CPC 3–5 definierten, während nur vier Studien ein schlechtes Ergebnis als CPC 4–5 definierten.

In prognostischen Genauigkeitsstudien wird ein Prädiktor (Indextest) auf seine Fähigkeit hin bewertet, ein Ergebnis vorherzusagen; das Design entspricht dabei dem von diagnostischen Genauigkeitsstudien. Während in diagnostischen Genauigkeitsstudien der Indextest gegen einen anderen Test bewertet wird (welcher als Referenz- oder Goldstandard verwendet wird), bewerten prognostische Genauigkeitsstudien den Indextest gegenüber dem Eintreten des vorhergesagten Ereignisses (Zielbedingung) nach der Testaufzeichnung [298]. Wenn die Testergebnisse im Binärformat ausgedrückt werden (d. h. positiv vs. negativ) wird die Genauigkeit als Sensitivität und Spezifität ausgedrückt, welche die Vorhersagekraft des Tests angeben, diejenigen (Personen) zu identifizieren, die die Zielbedingung entwickeln bzw. nicht entwickeln. Da die meisten neuroprognostischen Tests ein schlechtes neurologisches Ergebnis vorhersagen, ist eine hohe Spezifität wünschenswert (d. h. eine sehr geringe Rate falscher pessimistischer Vorhersagen, die zum unangemessenen WLST führen). Im Idealfall ist ein Indextest zu 100 % spezifisch, d. h. seine Falsch-positiv-Rate (FPR) soll Null sein; in der Praxis ist es aber unrealistisch, dies zu erreichen. Wie spezifisch ein Indextest für die Prognosestellung nach Kreislaufstillstand sein soll, ist bisher nicht allgemein konsentiert. In einer kürzlich durchgeführten Umfragestudie gaben 56 % der 640 Ge-

sundheitsfachpersonen als akzeptablen Wert für WLST an, dass die FPR an Patienten, die sich sonst möglicherweise erholt hätten, bei $\leq 0,1\%$ liegen soll [299]. Neben dem absoluten Wert der Spezifität ist die Genauigkeit der Schätzung wichtig. Ein sehr spezifischer Test, der ein schlechtes Ergebnis vorhersagt, ist klinisch wenig nützlich, wenn seine Präzision gering ist (d. h. wenn die Konfidenzintervalle seiner Spezifität breit sind), da dies eine hohe Unsicherheit für die geschätzte Spezifität anzeigt. In der ERC-ESICM-Stellungnahme 2014 zur neurologischen Prognosestellung nach Kreislaufstillstand [300] waren die stärksten Prädiktoren diejenigen, bei denen die Obergrenze des 95 %-CI der FPR kleiner als 5 % war.

Für einige neuroprognostische Tests, wie z. B. von Biomarkern der Hirnschädigung oder dem Dichteverhältnis von grauer zu weißer Substanz im Hirn-CT, werden die Ergebnisse als kontinuierliche Variable ausgedrückt. In diesem Fall hängen Sensitivität und Spezifität von der Auswahl des Schwellenwerts ab, der positive von negativen Testergebnissen differenziert. Die Werte für Sensitivität und Spezifität werden durch Variieren des Positivitätsschwellenwerts über alle seine möglichen Werte erhalten und werden durch eine Receiver-Operating-Characteristic(ROC)-Kurve ausgedrückt. Die Dichotomisierung kontinuierlicher Vorhersagevariablen für ein binäres Testergebnis beinhaltet die Schwierigkeit, einen konsistenten Schwellenwert für eine 100 %-ige Spezifität zu finden. Sehr hohe Werte in einem Test können durch Ausreißer verursacht sein, die zu Verzerrungen führen und die gleichzeitig die Testempfindlichkeit verringern.

Hauptursachen für Verzerrungen bei der neurologischen Prognosestellung

Eine der Hauptverzerrungen bei der neurologischen Prognosestellung nach Kreislaufstillstand ist die sich selbst erfüllende Prophezeiung. Dies passiert, wenn das Behandlungsteam das Ergebnis des Prognosetestes kennt und es für Entscheidungen verwendet, die das Ergebnis des Patienten beeinflussen, z. B.

WLST. Dies führt zu einer Überschätzung der Testgüte mit dem Risiko für ein unangemessenes WLST. Ein 2013 veröffentlichter systematischer Review zur Neuroprognostizierung nach Kreislaufstillstand [301, 302] identifizierte für 64 von 73 (88 %) der Studien ein Risiko für eine Verzerrung aufgrund sich selbst erfüllender Prophezeiung.

Im Idealfall müssen die Indextests verblindet durchgeführt werden, um eine sich selbst erfüllende Prophezeiungsverzerrung zu vermeiden. Dies ist jedoch in der Praxis schwer zu erreichen. Das Verbergen klinischer Untersuchungsergebnisse vor dem Behandlungsteam ist nahezu unmöglich, während das Vorenthalten von Ergebnissen aus EEG oder Hirnbildgebung unethisch wäre, da dann Informationen über potenziell behandelbare Komplikationen (z. B. Anfälle oder intrakranielle Hypertonie) nicht verfügbar wären. Trotzdem wurden einige Prädiktoren, wie z. B. Biomarker, verblindet ausgewertet [233]. Eine Verzerrung durch sich selbst erfüllende Prophezeiung kann weitgehend minimiert werden, wenn eine aktive WLST-Leitlinie fehlt. Dies wurde in einigen Studien beschrieben, die in Ländern oder Bereichen durchgeführt wurden, in denen Behandlungseinschränkungen aus kulturellen, rechtlichen oder religiösen Gründen nicht akzeptiert werden [303, 304].

Weitere Strategien zur Verringerung des Risikos falscher pessimistischer Vorhersagen umfassen (a) die Vermeidung von Therapieeinflüssen (z. B. Sedativa) auf klinische Untersuchungsergebnisse oder EEG; (b) das Vermeiden von Entscheidungen über lebenserhaltende Behandlungen auf der Basis eines einzelnen Indextests (und stattdessen der Verwendung eines multimodalen Ansatzes, siehe **Abb. 5** – Multimodaler Prognosealgorithmus); (c) die Interpretation aller Indextests ausschließlich im klinischen Kontext.

Eine spezifische Verzerrungsquelle in neuroprognostischen Studien nach Kreislaufstillstand ist das Vorhandensein eines Zeitintervalls zwischen der Aufzeichnung des Indextests, der normalerweise sehr früh nach dem Stillstand durchgeführt wird, und der Beurteilung des neurologischen Ergebnisses. Da

die Erholung von einem hypoxisch-ischämischen Hirnschaden nach Kreislaufstillstand Zeit erfordert, beträgt der früheste empfohlene Zeitpunkt für die Beurteilung 30 Tage nach dem Ereignis oder des neurologischen Entlassungsbefunds [293]. Eine weitere neurologische Erholung kann jedoch auch noch später erfolgen. Folglich kann sich eine frühzeitige Vorhersage des Ergebnisses, gemessen durch CPC oder mRS bei Krankenhausentlassung, bei späterer erneuter Bewertung gelegentlich als falsch erweisen [305]. Aus diesem Grund raten die Leitlinien dazu, das neurologische Ergebnis 3 oder 6 Monate nach dem Ereignis neu zu bewerten [298]. Die Mehrzahl der Studien, die in das systematische Review als Basis der vorliegenden Leitlinien einbezogen wurden, berichtet über das neurologische Ergebnis mindestens 6 Monate nach Kreislaufstillstand.

Eine weitere Verzerrung, die teilweise mit der Zeitverzögerung zwischen Indextest und dem gemessenen Reanimationsergebnis zusammenhängt, ist die Überlagerung durch extrazerebrale Todesursachen. Dazu gehören kardiovaskuläre Instabilität, die nach Kreislaufstillstand die zweithäufigste Todesursache im Krankenhaus ist [26], und das Multiorganversagen aufgrund einer globalen Ischämie-Reperfusionsschädigung [306, 307]. Obwohl die Wahrscheinlichkeit für diese Komplikationen nach dem Kreislaufstillstand am höchsten ist, kann der Tod durch extrazerebrales Organversagen auch nach neurologischer Genesung auftreten [308]. Die Prävalenz für Tod nach dem Erwachen aus dem Koma betrug auf der Intensivstation 16 % in einer Single-Center-Studie, [309] und 4,2 % während des Krankenhausaufenthalts in einer kürzlich durchgeführten multizentrischen europäischen Studie mit 4646 Patienten [310]. In dieser Studie trat der Tod im Mittel 9 (3–18) Tage nach dem Erwachen ein; nach IHCA war das Ereignis häufiger als nach OHCA.

Klinische Untersuchung

Diese Leitlinien werden durch Evidenz gespeist, welche aus einem systematischen Review zur Prognostizierung und aus dem ILCOR-CoSTR 2020 stammt

[10, 16]. Die relevanten Behandlungsempfehlungen im ILCOR CoSTR 2020 lauten:

- Wir raten dazu, für die Vorhersage des neurologischen Ergebnisses von Erwachsenen, die nach Kreislaufstillstand komatös bleiben, den Pupillenlichtreflex frühestens 72 h nach ROSC zu verwenden (schwache Empfehlung, sehr niedriges Evidenzniveau).
- Wir raten dazu, für die Vorhersage des neurologischen Ergebnisses von Erwachsenen, die nach Kreislaufstillstand komatös waren, eine quantitative Pupillometrie frühestens 72 h nach ROSC zu verwenden (schwache Empfehlung, niedriges Evidenzniveau).
- Wir raten dazu, für die Vorhersage eines schlechten neurologischen Ergebnisses bei Erwachsenen, die nach Kreislaufstillstand komatös waren, das bilaterale Fehlen eines Hornhautreflexes frühestens 72 h nach ROSC zu verwenden (schwache Empfehlung, sehr niedriges Evidenzniveau).
- Wir raten dazu, das Vorhandensein von Myokloni oder Status myokloni innerhalb von 96 h nach ROSC in Kombination mit anderen Tests zu verwenden, um ein schlechtes neurologisches Ergebnis bei komatösen Erwachsenen nach Kreislaufstillstand vorherzusagen (schwache Empfehlung, sehr niedriges Evidenzniveau). Wir raten außerdem dazu, das EEG während myoklonischer Zuckungen aufzuzeichnen, um den Phänotyp des Myoklonus zu charakterisieren.

Augenreflexe. Die derzeit für die neurologische Prognosestellung nach Kreislaufstillstand verwendeten Augenreflexe sind der Pupillen- und der Hornhautreflex. Der Pupillenlichtreflex (PLR) ist eine durch Lichtreiz ausgelöste zeitweise Verringerung der Pupillengröße. Der Standard-PLR (s-PLR) wird visuell ausgewertet und üblicherweise mit einer Taschenlampe ausgelöst. In den letzten Jahren ist auf der Intensivstation die quantitative Bewertung der PLR mittels tragbarer Pupillometer verfügbar geworden. Eine bilateral fehlende s-PLR hat eine geringe Spezifität für die Vorhersage ei-

nes schlechten Ergebnisses in den ersten Stunden nach ROSC, aber ihre Genauigkeit nimmt im Lauf der Zeit zu und erreicht 96 h nach ROSC eine 100%ige Spezifität mit einer Sensitivität von 20 bis 25 % [16]. Dieser Verlauf ist wahrscheinlich auf den Prozess der Wiederherstellung der Gehirnfunktion nach einer anoxisch-ischämischen Schädigung zurückzuführen, kann aber auch teilweise auf Interferenzen durch Sedativa zur Aufrechterhaltung der TTM zurückzuführen sein. Der s-PLR ist kostengünstig und einfach in der Anwendung, aber subjektiv und anfällig für Interrater-Variabilität [311].

Die quantitative Bewertung der PLR (automatisierte Pupillometrie) liefert eine objektive und quantifizierbare Messung der Pupillenreaktion. Die gebräuchlichsten Messparameter in der Pupillometrie sind die prozentuale Verringerung der Pupillengröße, die meist als qPLR [312] angegeben wird, sowie der neurologische Pupillenindex (NPi; [313]). Der NPi wird aus mehreren dynamischen Parametern der Pupillenreaktion mittels eines proprietären Algorithmus berechnet (Pupillenverengung, Dilatationsgeschwindigkeit, Größe und prozentuale Größenreduktion nach Stimulation). Ein NPi-Wert ≥ 3 gilt als normal. Auf einem niedrigen Evidenzniveau konnte gezeigt werden, dass NPi im Gegensatz zu s-PLR ein ungünstiges Reanimationsergebnis ohne falsch-positive Ergebnisse bereits 24–72 h nach ROSC vorhersagen kann [16]. In einer Studie war mithilfe des Pupillometers bereits bei sehr geringen Pupillengrößen eine Reaktion erkennbar (Pupillengrößen, die vermutlich auf Sedativa zurückzuführen sind; [313]). Die Ergebnisse der Pupillometrie werden als kontinuierliches Maß ausgedrückt, weshalb der Schwellenwert für eine 100%ige Spezifität zwischen verschiedenen Studien variiert. In drei Studien, die einem kürzlich publizierten Review zugrunde lagen, lag der Schwellenwert für NPi weniger als 24 h nach ROSC bei $< 2,4$ und zwischen 24–72 h bei 2,0 [16]. Eine weitere Limitation der automatisierten Pupillometrie sind die zusätzlichen Kosten.

Der Hornhautreflex (CR) wird durch Berühren des äußeren Rands (Limbus) der Hornhaut mit einem Wattebausch

ausgelöst. Alternativ kann ein Luft- oder Wasserspritzer verwendet werden, um das Risiko eines Hornhautabriebs zu minimieren [314]. Die entsprechende Reizantwort erfolgt durch ein Zinkern der Augen. Bei Patienten, die nach Kreislaufstillstand komatös sind, sagt eine fehlende CR ein schlechtes neurologisches Ergebnis 72 h nach ROSC mit 100%iger Spezifität und 25–40%iger Sensitivität voraus [16]. So wie der PLR kann auch der CR durch Sedativa gestört werden. Zusätzlich kann der CR durch Muskelrelaxanzien vermindert werden. Eine kürzlich durchgeführte Umfragestudie ergab inkonsistente Untersuchungsmodalitäten für den CR [315].

Motorische Reaktion. Fehlende motorische Reaktion oder Extremitätenstreckungen auf Schmerzen (Glasgow Coma Score: motorische Komponente [M] 1 bzw. 2) ist mit einem schlechten neurologischen Ergebnis nach Kreislaufstillstand verbunden [16]. Die Spezifität ist jedoch gering und erreicht fast nie 100 %, selbst wenn sie 96 h nach ROSC vorgenommen wird. Wie beim CR basiert die motorische Reaktion auf Kontraktionen der quergestreiften Muskulatur und kann daher durch Muskelrelaxanzien beeinträchtigt werden. Aufgrund seiner hohen Sensitivität ($> 60 %$ ab 72 h nach ROSC) kann ein $M = 1-2$ als Kriterium zur Identifizierung von Patienten verwendet werden, bei denen nach einem Kreislaufstillstand eine Prognoseeinschätzung erfolgen soll. Jüngste Erkenntnisse zeigten jedoch, dass die Verwendung von $M \leq 3$ als Einstiegs-kriterium die Sensitivität für die Vorhersage eines schlechten Ergebnisses erhöht, ohne die Spezifität zu verringern [316].

Myokloni und Status myokloni. Myokloni sind plötzliche, kurze, unwillkürliche ruckartige Zuckungen, die durch Muskelkontraktionen oder deren Hemmungen ausgelöst werden. Ihre Verteilung kann fokal, multifokal oder generalisiert sein [317]. Das Vorhandensein von Myokloni innerhalb von 96 h nach ROSC bei komatösen Patienten nach einem Kreislaufstillstand ist in den meisten Fällen mit einem schlechten neurologischen Ergebnis verbunden

[16]. Allerdings wurde eine falsch-positive Rate von bis zu 22% beschrieben [318]. Die meisten Prognostizierungsstudien lieferten keine Definition oder Beschreibung von Myokloni. Bei einigen Patienten mit günstigem Reanimations-Outcome kann der Myoklonus nach Wiedererlangen des Bewusstseins in chronischer Form als Aktionsmyoklonus (d. h. ausgelöst durch Spontanbewegungen) bestehen bleiben; dies ist als Lance-Adams-Syndrom bekannt [185, 319].

Klinisch manifeste Myokloni können gelegentlich mit elektrisch ausgelösten Anfällen assoziiert sein, weshalb eine gleichzeitige EEG-Aufzeichnung nützlich sein kann. Einige Studien haben spezifische Zeichen im EEG identifiziert, die mit gutartigen Myokloni verbunden sind, wie z. B. eine reaktive [182, 187] und/oder eine kontinuierliche EEG-Grundaktivität [182, 184]. Das Auftreten diffuser und kontinuierlicher myoklonischer Zuckungen wird üblicherweise als Status myoklonus bezeichnet. Eine konsensierte Definition des Status myoklonus fehlt jedoch. In der ERC-ESICM-Empfehlung von 2014 zur neurologischen Prognose nach Kreislaufstillstand wurde vorgeschlagen, den Status myoklonus bei komatösen Überlebenden als kontinuierlichen und generalisierten Myoklonus zu definieren, der mindestens 30 min anhält [300]. Evidenz aus 2 Studien, in denen keine elektrographischen Merkmale des Status myoklonus unterschieden wurden [16] ergab, dass der Status myoklonus innerhalb von 24 h [320] oder innerhalb von 7 Tagen nach ROSC [181, 320] fast immer mit einem schlechten neurologischen Ergebnis verbunden war (Spezifität 99–100 %).

Prädiktoren, die auf klinischen Untersuchungen basieren, bieten Vorteile aufgrund von geringem Materialaufwand, niedrigen Kosten (außer Pupillometrie) und der Verfügbarkeit am Krankenbett. Ihre Hauptlimitationen liegen in der Beeinträchtigung durch Sedativa, Opioidoide und – mit Ausnahme der PLR – Muskelrelaxanzien. Darüber hinaus ist ihre Bewertung anfällig für Subjektivität. Automatisierte Messmethoden, wie die Pupillometrie für den PLR, können zumindest diese Einschränkungen beseitigen. Schließlich lassen sich klinische Untersu-

chungsergebnisse nicht vor dem Behandlungsteam verbergen, wodurch die Gefahr einer Bewertungsverzerrung durch sich selbst erfüllende Prophezeiung entsteht.

Neurophysiologie

Diese Leitlinien werden durch Evidenz gespeist, welche aus einem systematischen Review zur Prognostizierung und aus dem ILCOR-CoSTR 2020 stammt [10, 16]. Die relevanten Behandlungsempfehlungen im ILCOR-CoSTR 2020 lauten:

- Wir empfehlen, die Neuroprognostizierung immer mithilfe eines multimodalen Ansatzes durchzuführen, da kein einzelner Test eine ausreichende Spezifität zur Eliminierung falsch positiver Ergebnisse aufweist (starke Empfehlung, Evidenz mit sehr geringer Sicherheit).
- Wir raten zur Vorhersage eines schlechten Ergebnisses bei erwachsenen komatösen Patienten nach Kreislaufstillstand zur Verwendung einer bilateral fehlenden N20-Welle in den somatosensorisch evozierten Potenzialen (SSEP) ab ≥ 24 h nach ROSC in Kombination mit anderen Indizes (schwache Empfehlung, Evidenz mit sehr geringer Sicherheit).
- Wir raten davon ab, das Fehlen einer EEG-Grundreaktivität allein zu verwenden, um ein schlechtes Ergebnis bei komatösen Erwachsenen nach Kreislaufstillstand vorauszusagen (schwache Empfehlung, Evidenz mit sehr geringer Sicherheit).
- Wir raten dazu, das Vorhandensein einer Anfallsaktivität im EEG in Kombination mit anderen Indizes zu verwenden, um ein schlechtes Ergebnis bei komatösen Erwachsenen nach Kreislaufstillstand vorauszusagen (schwache Empfehlung, Evidenz mit sehr geringer Sicherheit).
- Wir raten dazu, ein Burst-Suppression-Muster im EEG ≥ 24 h nach ROSC in Kombination mit anderen Indizes zu verwenden, um ein schlechtes Ergebnis bei nicht sedierten, komatösen Erwachsenen nach Kreislaufstillstand vorauszusagen (schwache Empfehlung, Evidenz mit sehr geringer Sicherheit).

Elektroenzephalographie (EEG). Die Elektroenzephalographie (EEG) ist eine der am häufigsten verwendeten und untersuchten Methoden zur Beurteilung der Hirnfunktion und zur Prognose nach Kreislaufstillstand [321]. Das EEG ist außerdem wichtig für die Diagnose und die Behandlung von Krampfanfällen.

Die Hauptaspekte bei der Beurteilung des EEG sind die Grundaktivität, darüber gelagerte Entladungen und Reaktivität. Die EEG-Grundaktivität ist für die Prognose am wichtigsten und wird üblicherweise klassifiziert als kontinuierlich, diskontinuierlich, Burst-Suppression (50–99% Unterdrückungsperioden) oder Suppression (>99% Aktivität mit $<10 \mu\text{V}$ -Amplitude; [322]). Eine standardisierte Terminologie für das EEG in der Intensivmedizin wurde vom ACNS vorgeschlagen [190].

Unmittelbar nach einem Kreislaufstillstand ist das EEG bei vielen Patienten vollständig supprimiert, aber bei den meisten Patienten, die ein gutes Outcome erreichen, kehrt innerhalb der ersten 24 h ein kontinuierliches Normalspannungs-EEG zurück [323, 324]. Die benötigte Zeit für diese Erholung ist mit dem Outcome korreliert [322, 325]. Der EEG-Hintergrund ist in der ersten Aufzeichnung oft diskontinuierlich und von niedriger Frequenz [323, 326]. Sedativa beeinträchtigen die Hintergrundkontinuität und können dosisabhängig einen diskontinuierlichen Hintergrund oder ein Burst-Suppression-Muster induzieren [327, 328].

Hintergrundmuster.

Suppression Ein supprimierter ($<10 \mu\text{V}$) oder Niederspannungshintergrund ($<20 \mu\text{V}$) ist am ersten Tag nach einem Kreislaufstillstand relativ häufig [303, 323, 324]. Ein supprimierter EEG-Hintergrund $<10 \mu\text{V}$ 24 h ist nach ROSC jedoch ein zuverlässiger Prädiktor für eine schlechte Prognose [329–334], obwohl in einer Studie 2 falsch-positive Vorhersagen nach diesem Muster 48–72 h nach Kreislaufstillstand berichtet wurden [331]. Für die Bewertung einer supprimierten Hintergrundaktivität bestand allerdings auch unter erfahrenen Neurophysiologen nur eine moderate Interrater-Übereinstimmung [331, 335].

Burst Suppression Die ACNS-Terminologie definiert als Burst Suppression (BS), wenn 50–99% der EEG-Aufzeichnung aus Suppression besteht, welche sich mit Bursts abwechselt. Die Definition enthält keine Amplitudenkriterien für die Bursts, diese können aber als hochepileptiforme Bursts bezeichnet werden, basierend auf ihrem Aussehen [190] als Vorhandensein identischer Bursts (entweder die ersten 0,5 s eines Bursts oder jedes stereotypische Cluster von ≥ 2 Bursts erscheinen in $>90\%$ der Bursts in jedem Kanal als visuell ähnlich). Dies deutet auf eine schlechte Prognose im postanoxischen Koma hin [336]. Eine Forschungsgruppe schlug auch eine Trennung von BS-Mustern in synchron (mit stark epileptiformen oder identischen Bursts) und heterogen (nichtsynchron) vor [334]. Die Kriterien für die Burst-Amplitude und das Erscheinungsbild variieren zwischen den Studien erheblich. Ein erheblicher Teil der Patienten mit BS während der ersten 24 h und einige Patienten mit BS-Muster nach 24 h erreichen immer noch ein gutes neurologisches Ergebnis, was vermutlich mit der Verwendung von Sedativa zusammenhängt [305, 323, 329–331, 337–339]. Unter erfahrenen Neurophysiologen bestand eine sehr hohe Interrater-Übereinstimmung für die Einschätzung als BS [331].

Diskontinuierlich Ein diskontinuierlicher Hintergrund mit Suppressionsperioden $>10\%$ der Aufzeichnung besitzt während der ersten 24 h nach Kreislaufstillstand eine geringe prognostische Aussagekraft [340, 341] und nach 24 h eine uneinheitliche Vorhersagekraft [329–331, 341].

Reaktivität Die EEG-Reaktivität ist eine messbare Änderung der Amplitude oder Frequenz bei externer Stimulation (Hör- und Schmerzempfindlichkeit). Es gibt keinen allgemein anerkannten Standard für Reaktivitätstests und die Vorhersagekraft dieses Aspekts variierte zwischen den Studien erheblich [16, 342]. Eine fehlende EEG-Reaktivität während der ersten 24 h nach Kreislaufstillstand ist ein Indikator für ein schlechtes Ergebnis mit hoher Empfindlichkeit, aber geringer Spezifität (41,7–87,5%; [339, 343–345]). Nach 24 h bleibt die Sensitivität der fehlenden EEG-Reaktivität hoch, während

die Spezifität zwischen 50 und 100 % variierte [329, 331, 337, 339, 344–348]. Die Interrater-Übereinstimmung in der Bewertung der EEG-Reaktivität variierte von gering bis fast vollständig [331, 349]. Stimulusevozierte rhythmische, periodische oder ictale Entladungen (SIRPIDS) sind keine Manifestation normaler Hintergrundreaktivität – ihre prognostische Bedeutung ist noch nicht definiert [206, 350].

Übergelagerte Muster.

Periodische Entladungen Als periodisches Muster wird eine sich wiederholende Wellenform bezeichnet, bei der zwischen den Entladungen ein quantifizierbares Intervall erkennbar ist. Falls kein solches Intervall vorhanden ist, wird das Muster als rhythmisch bezeichnet [190]. Periodische Entladungen (PD) können über verschiedenen Grundaktivitäten aufgelagert sein und sind mit einer schlechteren Prognose verbunden. Generalisierte periodische Entladungen (GPD) sind ein Zeichen für eine ungünstige Prognose mit begrenzter Spezifität [329, 330, 333, 337]. Die Grundaktivität, vor der die PD auftreten, ist allerdings stärker mit dem neurologischen Outcome assoziiert [322]. PD bei einer kontinuierlichen oder einer reaktiven EEG-Grundaktivität sollen nicht als Indikator für ein ungünstiges Outcome gewertet werden [184].

Sporadische epileptiforme Entladungen Sporadische epileptiforme Entladungen beschreiben scharfe Wellen oder Spitzen, ähnlich denen bei Patienten mit Epilepsie, jedoch ohne die Regelmäßigkeit eines periodischen Musters. Die Häufigkeit ihres Auftretens kann stark variieren von selten ($<1/h$) bis reichlich ($\geq 1/10s$) und geht über in den Bereich der periodischen Entladungen. Während ihr Auftreten mit einem schlechteren Outcome assoziiert ist, liegt die Spezifität für die Vorhersage eines schlechten Outcomes zwischen 66,7 und 100 % [16]; außerdem fehlten in den entsprechenden Studien Informationen zur (potenziell wichtigen) Frequenz bzw. Anzahl der Entladungen [303, 331, 333, 334]. Das Vorhandensein sporadischer epileptiformer Entladungen ist KEIN

verlässlicher Indikator für eine schlechte neurologische Prognose.

Elektrographische Anfälle und elektrographischer Status epilepticus Die ACNS definiert eindeutige Anfälle als generalisierte rhythmische Spike-and-Wave-Entladungen mit einer Frequenz ≥ 3 Hz oder als sich eindeutig entwickelnde Entladungen jeglicher Art >4 Hz [190]. Diese Definition wurde in verschiedenen Studien uneinheitlich angewandt. Krampfanfälle hatten eine geringe Sensitivität, aber eine hohe Spezifität für ein schlechtes Outcome, unabhängig vom Zeitpunkt [329, 331, 333, 337, 351].

Der Begriff elektrographischer Status epilepticus (ESE) ist definiert als elektrographischer Anfall, der ≥ 10 aufeinanderfolgende Minuten andauert oder innerhalb eines 60-minütigen Aufzeichnungszeitraums mehr als 20 % einnimmt. Diese Definition wurde erstmals 2021 in die Aktualisierung der ACNS-Terminologie aufgenommen, und keine der derzeit verfügbaren prognostischen Studien hat sie bisher angewandt. Einige Studien stützten ihre Definition von ESE auf die ACNS-Klassifizierung eindeutiger Anfälle mit einer Dauer von ≥ 30 min, schlossen jedoch auch epileptiforme Entladungen ≥ 1 Hz ein [200, 325] sowie in einer Studie $\geq 0,5$ Hz als ESE [352]. Andere Studien verwendeten unklare Definitionen von ESE [305, 337, 338, 344]. Der Anteil der mit ESE klassifizierten Patienten variierte zwischen den Studien erheblich, was sehr wahrscheinlich auch auf unterschiedliche Definitionen zurückzuführen ist. Eine Studie zeigte, dass sich ein ESE von hochfrequenten Entladungen früh nach seinem Beginn zu zunehmend langsameren Frequenzen in den folgenden Tagen und Wochen entwickelt [189]. Unabhängig von der verwendeten Klassifizierung ist ein ESE nach Kreislaufstillstand mit einer schlechteren Prognose verbunden, trotzdem haben aber einige Patienten ein gutes Outcome [199, 200, 202]. Wie bereits bei periodischen Entladungen ist es wichtig, die Grundaktivität im EEG zu berücksichtigen, da bei kontinuierlicher Aktivität mit Reaktivität günstigere Outcomes zu erwarten sind [200, 202]. Aufgrund des Fehlens einer standardisierten Klassifizierung empfeh-

len wir, den Begriff Status epilepticus für die Prognosestellung zu vermeiden und stattdessen EEG-Grundaktivität, überlagernde Entladungen und eindeutige Krampfanfälle entsprechend der standardisierten ACNS-Terminologie zu klassifizieren [190].

Kategorien von Mustern. In mehreren Studien wurden die ungünstigsten Muster als maligne oder hochmaligne eingestuft. Die häufigste Gruppierung umfasste supprimierten Hintergrund mit oder ohne periodische Entladungen und Burst-Suppression als hochmaligne Muster [329]. Für diese hochmalignen Muster bestand eine starke Interrater-Übereinstimmung, [349] und die Spezifität für ein ungünstiges neurologisches Ergebnis betrug 90,6–100 % [329, 330, 332, 339, 341, 343, 353]. Es wurde auch eine alternative Kategorisierung von ungünstigen Mustern vorgeschlagen, welche eine strengere Definition von Burst-Suppression verwendete [334].

Quantitative EEG-Indizes. Die automatisierte Bewertung quantitativer EEG-Merkmale wie des Burst-Suppression-Amplituden-Relation und der Reaktivität wurde in Einzelstudien untersucht [354, 355]. Kombinationen quantitativer EEG-Merkmale umfassen den bispektralen Index (BIS) und den Cerebral Recovery Index [356]. Der Schwellenwert und die Spezifität für BIS zur Vorhersage eines schlechten Outcomes variierten erheblich zwischen verschiedenen Studien [357–359]. Automatisierte Bewertungen können die Subjektivität bei EEG-Bewertungen verringern. Prospektive multizentrische Studien sind erforderlich, um die prognostische Vorhersagekraft nach Kreislaufstillstand zu bewerten.

Evozierte Potenziale. Somatosensorisch evozierte Potenziale (SSEP) Bei der Durchführung von SSEP wird der Nervus medianus elektrisch stimuliert und die aufsteigenden Signale werden auf den Höhen des peripheren Plexus brachialis, der Halswirbelsäule, der subkortikalen Ebene und dem sensorischen Kortex aufgezeichnet (N20-Potenzial). SSEP können durch Barbituratoma un-

terdrückt werden, bleiben jedoch mit anderen Sedativa wie Propofol und Midazolam erhalten [360]. Ein bilaterales Fehlen der N20-Potenziale mit kurzer Latenz über dem sensorischen Kortex ist ein zuverlässiges Zeichen für eine schlechte Prognose nach Kreislaufstillstand mit hoher Spezifität und begrenzter Sensitivität sowohl früh als auch spät nach Kreislaufstillstand [204, 205, 305, 313, 334, 338, 340, 341, 343, 345, 346, 353, 355, 361–369]. Gelegentlich wurden falsch-positive Vorhersagen berichtet [370]. Die Interrater-Zuverlässigkeit für die Interpretation von SSEP war moderat bis gut [371, 372]. Die Aufzeichnungsqualität ist von großer Wichtigkeit und die Überlagerung durch Muskelaktivität ist eine relevante Einschränkung; durch Muskelrelaxanzien kann diese eliminiert werden [360, 371].

Visuell evozierte Potenziale (VEP) und auditorisch evozierte Potenziale (AEP)

Es gibt nur wenige Daten, die die Verwendung von visuell evozierten Potenzialen (VEP; [361]) oder auditorisch evozierten Potenzialen (AEP; [364, 367]) zur Prognose des Outcomes nach Kreislaufstillstand unterstützen. Diese Ergebnisse müssen zunächst validiert werden, bevor VEP oder AEP in diesem Zusammenhang empfohlen werden können.

Biomarker

Diese Leitlinien werden durch Evidenz gespeist, welche aus einem systematischen Review zur Prognostizierung und aus dem ILCOR-CoSTR 2020 stammt [10, 16]. Die relevanten Behandlungsempfehlungen im ILCOR-CoSTR 2020 lauten:

- Wir empfehlen, die Neuroprognostizierung immer mithilfe eines multimodalen Ansatzes durchzuführen, da kein einzelner Test eine ausreichende Spezifität zur Eliminierung falsch-positiver Ergebnisse aufweist (starke Empfehlung, Evidenz mit sehr geringer Sicherheit).
- Wir raten dazu, die neuronenspezifische Enolase (NSE) innerhalb von 72 h nach ROSC in Kombination mit anderen Tests zu verwenden, um das neurologische Ergebnis von komatösen Erwachsenen nach einem Kreislaufstillstand vorherzusagen

(schwache Empfehlung, Evidenz mit sehr geringer Sicherheit). Es besteht kein Konsens über einen Schwellenwert.

- Wir raten davon ab, das S100B-Protein zur Vorhersage des neurologischen Outcomes von komatösen Erwachsenen nach Kreislaufstillstand zu verwenden (schwache Empfehlung, Evidenz mit geringer Sicherheit).
- Wir raten davon ab, Serumspiegel von fibrillärem saurem Glia-Protein (GFAP), Serum-Tau-Protein oder Neurofilamentleichtketten im Serum (NfL) zu verwenden, um ein ungünstiges neurologisches Outcome von komatösen Erwachsenen nach Kreislaufstillstand vorauszusagen (schwache Empfehlung, Evidenz mit sehr geringer Sicherheit).

Proteinbiomarker, die nach der Schädigung von Neuronen und Gliazellen freigesetzt werden, können im Blut gemessen werden und korrelieren wahrscheinlich mit dem Ausmaß der Hirnschädigung und dem neurologischen Outcome. NSE, NfL und Tau-Protein sind neuronenspezifische Biomarker, während S100B und GFAP aus Astrozyten stammen. Neuronenspezifische Enolase (NSE) wurde zur Beurteilung von Hirnschädigungen und zur Outcome-Prognose nach Kreislaufstillstand seit der letzten Leitlinienüberarbeitung im Jahr 2015 empfohlen [2]. Ihr tatsächlicher Einsatz in der klinischen Praxis ist allerdings nicht bekannt. Seit 2015 sind verschiedene Publikationen zu neuen Biomarkerkandidaten erschienen [234, 373–375].

Wichtig ist, dass ein multimodaler Ansatz zur Beurteilung von komatösen Überlebenden nach Kreislaufstillstand angewandt wird. Zu den Vorteilen von Biomarkern zählt, dass quantitative Ergebnisse erhoben werden, dass Probenabnahme und Interpretation einfach sind und sie unabhängig von Sedativawirkungen sind. Zu den Nachteilen zählen die beschränkte Verfügbarkeit, das Fehlen zuverlässiger Referenzwerte, zu wenig umfangreiche Studienpopulationen und, für einige von ihnen, das Fehlen einer externen Validierung. Der Großteil der verfügbaren Evidenz beschränkt sich auf den Zeitraum der

ersten 72 h nach Kreislaufstillstand, was aber für die meisten Patienten relevant ist. Allerdings ergibt sich daraus auch die Notwendigkeit für eine Strategie für die prospektive Probenentnahme vor der Einschätzung der Prognose nach mehr als 72 h. Sehr eingeschränkte Evidenz unterstützt die Verwendung von Biomarkern bei Patienten, die nach mehr als 72 h nicht erwachen. Große Studien zur Untersuchung und Validierung von vielversprechenden Biomarkern sind noch notwendig, damit ihr prädiktiver Wert und ihre Reproduzierbarkeit bewertet und konsistente Schwellenwerte mit einer Spezifität im Bereich von 100 % ermittelt werden können. Die Rationale für die Akzeptanz einer Spezifität unter 100 % wäre, dass bei der Messung von Blutbiomarkern immer Ausreißer auftreten werden, z. B. aufgrund ungenauer Kalibrierung oder Problemen mit Laborstandards, aufgrund von Hämolyse oder aufgrund schlechter Probenbehandlung. Falls für einen Blutbiomarker eine 100%ige Spezifität zugrunde gelegt wird, verringert sich die Sensitivität gegenüber Werten, bei denen ihre klinische Verwendung infrage gestellt werden kann. Hingegen erhöht eine falsche „positive rate“ von 1–2 % ihre klinische Relevanz. Bei einem multimodalen Ansatz muss jedes zur Beurteilung eines individuellen Patienten herangezogene Verfahren in die gleiche Richtung weisen. Dies gilt insbesondere für Biomarker aufgrund ihres kontinuierlichen Verlaufcharakters. Normale oder leicht erhöhte Werte (zum korrekten Zeitpunkt der Probenahme) sollen den Kliniker immer auf mögliche Fehler bei den anderen Verfahren aufmerksam machen.

Neuronenspezifische Enolase (NSE).

Neuronenspezifische Enolase wurde ausführlich untersucht; seit dem letzten systematischen Review [301, 302] wurden mindestens 13 einschlägige Beobachtungsstudien veröffentlicht, mit Schwellenwerten von 33 bis 120 $\mu\text{g L}^{-1}$ innerhalb der ersten 72 h zur Vorhersage eines schlechten neurologischen Outcomes bei Entlassung aus dem Krankenhaus bis zu 6 Monaten nach dem Ereignis, mit einer Spezifität zwischen 75 und 100 % und einer Sensitivität zwischen 7,8

und 83,6 %. In der bislang größten Studie wurden Ausreißer beschrieben [376]. Patienten mit hohem NSE ($>90 \mu\text{g L}^{-1}$) und gutem Outcome wiesen Störeinflüsse für die NSE-Erhöhung auf, während die meisten Patienten mit niedrigem NSE ($<17 \mu\text{g L}^{-1}$), die verstarben, keine hypoxisch-ischämische Enzephalopathie als Todesursache hatten. Die Studie wurde in dem kürzlich veröffentlichten systematischen Review nicht eingeschlossen, da der primäre Studienendpunkt die CPC bei der Entlassung von der Intensivstation war [16]. Eine große Subanalyse der TTM-Studie errechnete einen Schwellenwert von $48 \mu\text{g L}^{-1}$ nach 48 h und einen Schwellenwert von $38 \mu\text{g L}^{-1}$ nach 72 h mit einer Spezifität von 98 % (FPR 2 %) für ein schlechtes neurologisches Outcome nach 6 Monaten [233]. In einer anderen Studie konnte mit einem NSE-Schwellenwert von $50,2 \mu\text{g L}^{-1}$ am Tag 4 ein schlechtes neurologisches Outcome nach einem Monat mit 100 % Spezifität und 42,1 % Sensitivität vorausgesagt werden [377].

Die NSE nimmt nach 24 h bei Patienten mit gutem Outcome ab und steigt typischerweise bei Patienten mit schlechtem Outcome an, um bei 48–96 h ihren Höhepunkt zu erreichen. NSE weist nach 24 h eine noch geringe Aussagekraft auf, das am besten geeignete Zeitfenster liegt bei 48–72 h. Ein hoher NSE-Wert 48 h oder 72 h nach Kreislaufstillstand ist ein starker Prädiktor für ein schlechtes Outcome [233, 368, 376–381]. Ein Anstieg der NSE zwischen 24–48 h oder 48–72 h ist ein zuverlässiger Indikator für eine schlechte Prognose mit einer ähnlichen Aussagekraft wie der Absolutwert [382]. Eine kleine Studie ergab, dass ein NSE-Verhältnis von 48 h: 24 h $\geq 1,7$ eine 100%ige Spezifität für ein schlechtes Outcome aufwies [378]. In einer kürzlich durchgeführten Studie hing die prognostische Aussagekraft von NSE eindeutig vom Patientenalter und der Schwere des Ereignisses ab (gemessen als Dauer bis ROSC; [383]). Es zeigte die beste Aussagekraft im jüngsten Patientenquartil und bei Patienten mit längerer Dauer bis ROSC. In den eingeschlossenen Studien wurden mehrere verschiedene analytische Assays eingesetzt; die von Roche und Brahms für den routinemäßigen

klinischen Einsatz bereitgestellte Methodik war dabei am häufigsten. NSE wurde kürzlich in 2 Studien als Surrogatparameter für eine Hirnschädigung verwendet [78, 99].

Schwellenwerte für hohe NSE-Werte müssen in Zusammenarbeit mit dem örtlichen Labor unter Berücksichtigung der Analysemethoden festgelegt werden. Erythrozyten enthalten NSE, daher muss die Hämolyse (in Form von freiem Hämoglobin) gemessen und Proben müssen verworfen werden, wenn der Schwellenwert für den Hämolyseindex überschritten wird, da dies zu einem falsch-hohen NSE-Wert führt [384]. Die Halbwertszeit von freiem Hämoglobin beträgt 2–4 h, verglichen mit der 30-stündigen Halbwertszeit von NSE. Daher kann der NSE-Wert zu einem Zeitpunkt, zu dem freies Hämoglobin nicht mehr nachweisbar ist, unangemessen erhöht sein (durch NSE aus Erythrozyten), was bei der Verwendung von NSE zur Prognose nach Kreislaufstillstand problematisch ist [384].

S100B. Seit 2013 wurden 3 Beobachtungsstudien veröffentlicht [379, 380, 385], 2 von ihnen untersuchten S100B unmittelbar nach ROSC und identifizierten Schwellenwerte im Bereich von 3,56 bis $16,6 \mu\text{g}$ mit 100%iger Spezifität für ein schlechtes Outcome, aber mit geringen Sensitivitäten von 2,8 bis 26,9 %. In der größten Studie diskriminierte S100B am besten nach 24 h mit einem Schwellenwert von $2,59 \mu\text{g/L}$ mit 100 % Spezifität, allerdings mit einer geringen Sensitivität von 10 %. Die korrespondierende Sensitivität bei 98 % Spezifität (2 % FPR) lag bei 32 % (Schwellenwert $0,36 \mu\text{g/L}$; [385]). Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass S100B keinen echten Mehrwert für die Darstellung von Prognosemodellen mit oder ohne NSE bietet. S100B wird auch in der klinischen Praxis sehr selten eingesetzt und ist aus diesen Gründen nicht in unseren Empfehlungen enthalten.

Gliales fibrilläres saures Protein (GFAP). In einer Beobachtungsstudie an 100 Patienten sagte GFAP mit einem Schwellenwert von $0,08 \mu\text{g/L}$ nach 48 h (± 12 h) ein schlechtes neurologisches Ergebnis nach einem Monat mit 100 %

Spezifität und 21,3 % Sensitivität voraus [373].

Serum-Tau. In einer Studie sagte Serum-Tau-Protein mit einem Schwellenwert zwischen 72,7 und $875,6 \mu\text{g/L}^{-1}$ ein schlechtes neurologisches Outcome nach 6 Monaten voraus, mit 100%iger Spezifität und einer Sensitivität von 4 bis 42 % (Evidenz mit sehr geringer Sicherheit; [374]). Es wurde ein hochempfindlicher Einzelmolekülassay (SIMoA) mit einer Nachweisgrenze auf Einzelmolekülebene verwendet [386].

Neurofilamentleichtketten im Serum (Serum-Nfl). In einer großen Studie sagte Serum-Nfl mit einem Schwellenwert im Bereich von 1539 bis $12.317 \text{ pg ml}^{-1}$ nach 24 bis 72 h ein schlechtes neurologisches Outcome (CPC 3–5) nach 6 Monaten voraus, mit einer Spezifität von 100 % und einer Sensitivität von 53,1 bis 65 % (Evidenz mit mäßiger Sicherheit; [234]). Zum Nachweis von Nfl wurde dieselbe hochempfindliche SIMoA-Technik verwendet wie für Tau-Protein (siehe oben). In einer Post-hoc-Analyse der COMACARE-Studie, bei der dieselbe SIMoA-Technik für die Analyse verwendet wurde, lagen die Schwellenwerte für Serum-Nfl, mit 99%iger Spezifität für ein schlechtes Outcome, bei 127, 262 und 344 pg ml^{-1} nach 24 h, 48 h bzw. 72 h; Die Sensitivitäten lagen zwischen 78 und 85 % [387]. In einer anderen Studie, in der die SIMoA-Technik nicht verwendet wurde, konnte Serum-Nfl mit einem Schwellenwert von 252 bis 405 pg ml^{-1} von Tag 1 bis Tag 7 ein schlechtes neurologisches Outcome (CPC 4–5) nach 6 Monaten mit einer 100%igen Spezifität und Sensitivitäten zwischen 55,6 und 94,4 % voraussagen [375].

Bildgebung

Diese Leitlinien werden durch Evidenz gespeist, welche aus einem systematischen Review zur Prognostizierung und aus dem ILCOR-CoSTR 2020 stammt [10, 16]. Die relevanten Behandlungsempfehlungen im ILCOR-CoSTR 2020 lauten:

- Wir raten dazu, zerebrale Bildgebung für die Prognosestellung nur in solchen Zentren zu verwenden,

in denen spezifische Erfahrungen vorliegen (schwache Empfehlung, Evidenz von sehr geringer Qualität).

- Wir raten dazu, das Vorhandensein einer signifikanten Verringerung des Verhältnisses von grauer zu weißer Substanz (GM/WM) bei der Hirn-CT innerhalb von 72 h nach ROSC oder das Vorhandensein einer umfassenden Diffusionseinschränkung bei der Hirn-MRT 2–7 Tage nach ROSC in Kombination mit anderen Prädiktoren für die Prognose eines schlechten neurologischen Outcomes bei komatösen Patienten nach Kreislaufstillstand und TTM-Behandlung zu verwenden (schwache Empfehlung, Evidenz von sehr geringer Qualität).

Computertomographie (CT) des Gehirns.

Im Anschluss an einen Kreislaufstillstand verursacht eine hypoxisch-ischämische Hirnschädigung ein zytotoxisches Ödem, das sich als Kontrastverlust zwischen grauer Substanz („grey matter“, GM) und weißer Substanz („white matter“, WM) darstellt (fehlende Weiß-Grau-Differenzierung). Zudem imponiert ein vasogenes Ödem, das zum Anschwellen des Gehirns führt und als Verringerung der Tiefe der kortikalen Sulci (Auslöschung) sichtbar wird [388]. Setzt man die Hounsfield-Einheiten (eine Skala, die in der Computertomographie die Abschwächung von Röntgenstrahlen im Gewebe beschreibt) der grauen Substanz ins Verhältnis zur denen der weißen Substanz, ergibt sich die „grey-white-matter ratio“ (GWR). Die GWR erlaubt die Quantifizierung der Ausprägung des Ödems. Da die graue Substanz eine höhere Dichte besitzt als die weiße, ist die GWR im Normalfall größer als 1. Je niedriger die GWR, desto ausgeprägter ist das Hirnödem.

Eine GWR-Reduktion tritt bei Patienten mit schwerer hypoxisch-ischämischer Hirnschädigung frühzeitig auf. In einem kürzlich durchgeführten systematischen Review zeigten die meisten Studien, die sich mit reduzierter GWR befassen, dass diese bereits 1 h nach ROSC zu 100 % spezifisch für ein schlechtes neurologisches Ergebnis sein konnte [16]. In anderen Studien jedoch [304, 389–391]

war eine reduzierte GWR erst bis zu 72 h nach ROSC zu 100 % spezifisch für ein schlechtes neurologisches Outcome. Die Methoden zur Messung der GWR waren in den Studien unterschiedlich. In den meisten Studien wurde der Kontrastverlust zwischen grauer und weißer Substanz (GWR) im Bereich der Basalganglien berechnet. In anderen Studien wurden die Messungen im Großhirn durchgeführt (Centrum semiovale und Bereich der Konvexität; [392–394]). In fast allen Studien wurde ein GWR-Grenzwert für 100 % Spezifität identifiziert. Dieser Wert variierte jedoch zwischen den Studien. Zum Beispiel lag der Grenzwert für die 100%ige Spezifität des durchschnittlichen GWR, gemessen in den Basalganglien und im Großhirn, innerhalb von 2 h nach ROSC bei 1,10–1,23 [16]. Die GWR-Sensitivität variierte ebenfalls stark zwischen den Studien, was vermutlich auf Unterschiede bei CT-Scannern und Software [395] bei Berechnungsmethoden und bei der Ätiologie des Kreislaufstillstands zurückzuführen ist [393, 396]. In einem Arm der TTM-Studie wurde das Ödem im CCT ohne formale GWR-Messung visuell beurteilt [397]. In dieser Studie betrug die Spezifität für ein schlechtes neurologisches Ergebnis 98,4–99,6 % [4, 97] bei einer Sensitivität von 33,6–39,5 % [1, 31]. Die meisten Studien zum Hirn-CT waren retrospektive Einzel-Center-Studien.

Magnetresonanztomographie (MRT) des Gehirns.

Neben der CT ist die Magnetresonanztomographie (MRT) des Gehirns der am meisten untersuchte bildgebende prädikative Index bei komatösen Patienten nach Kreislaufstillstand [16]. Die zerebrale MRT ist bei beatmeten Intensivpatienten aufwendiger durchzuführen, und die MRT wurde im Allgemeinen später als die CCT durchgeführt, normalerweise 48 h nach ROSC oder später. Bei der zerebralen MRT tritt ein zytotoxisches Ödem aufgrund einer hypoxisch-ischämischen Hirnschädigung als Hyperintensität bei diffusionsgewichteten MR-Bildgebungssequenzen (DWI-Sequenz) in Erscheinung. Bei der DWI macht man sich zunutze, dass pathologisch veränderte Gewebe (z. B. nach Ischämie) gegenüber dem Normal-

zustand eine veränderte Wasserdiffusion aufweisen [398]. In mehreren Studien war das Vorhandensein von DWI-Läsionen mit einem schlechten neurologischen Ergebnis nach Kreislaufstillstand verbunden [392, 399–402]. Die Bewertung wurde jedoch qualitativ durchgeführt und die Spezifität war inkonsistent (Bereich 55,7–100 %). Der erkennbare Diffusionskoeffizient („apparent diffusion coefficient“, ADC) ermöglicht eine semiquantitative Bewertung von DWI-Änderungen, wodurch die Subjektivität etwas gemindert wird. Allerdings wurden in den Prognosestudien unterschiedliche Berechnungsformen des ADC angewendet [16]. Dies umfasste den niedrigsten minimalen oder den Durchschnitts-ADC [403], den Durchschnitts-ADC [404], den Anteil des Gehirnvolumens unter einem bestimmten ADC-Schwellenwert [404, 405] und die maximale Größe der MRT-Cluster mit minimalem ADC [403]. Die meisten dieser Studien bewerteten den globalen ADC, während eine von ihnen den regionalen ADC bewertete [403]. In all diesen Studien wurde ein ADC-Grenzwert für 100 % Spezifität identifiziert, häufig mit einer Sensitivität über 50 %. Alle Studien zur ADC-MRT untersuchten nur kleine Stichproben, was ihre Aussagekraft einschränkt. In vielen Studien wurde die Bildgebung nach Ermessen des behandelnden Arztes durchgeführt, was möglicherweise zu einer Stichprobenverzerrung geführt hat.

Im Gegensatz zur klinischen Untersuchung und zum EEG sind bildgebende Verfahren nicht anfällig für Störeinflüsse durch Sedativa. Darüber hinaus können sie verblindet beurteilt werden. Die Haupteinschränkung besteht in der fehlenden Standardisierung der Messtechniken. Zwar besitzen die verfügbaren Studien für die zerebrale CT und MRT eine hohe Genauigkeit, aber die geringe Anzahl der Studien und die Limitation aufgrund der Variabilität der angewandten Messtechniken schränkt die Reproduzierbarkeit und Aussagekraft stark ein. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, prognostische Bildgebungsstudien nur in Zentren durchzuführen, in denen spezifische Erfahrungen vorhanden sind. Da es derzeit keinen Standard für CT-GWR- oder

MR-ADC-Messungen gibt, können diese Techniken empfohlen werden, um eine generalisierte und ausgedehnte ischämische Hirnschädigung zu bestätigen. Ein erfahrener Neuroradiologe kann diesen Befund durch einfache visuelle Analyse erheben. Die Anwendbarkeit von bildgebenden Verfahren ist insbesondere in der frühen Phase nach der Reanimation eingeschränkt, da diese nicht am Krankenbett durchgeführt werden können und bei sehr instabilen Patienten eine MRT möglicherweise nicht durchführbar ist.

Multimodale Prognosestrategie

Die ERC-ESICM-Leitlinien zur Postreanimationsbehandlung aus dem Jahr 2015 enthielten einen Algorithmus zur Vorhersage eines schlechten neurologischen Ergebnisses bei komatösen Patienten nach Kreislaufstillstand [1]. Dieser Algorithmus wurde in jüngsten retrospektiven Studien validiert. Eine Studie an 226 Patienten zeigte, dass die ERC-ESICM-Leitlinien von 2015 eine FPR von 0 % für die Vorhersage eines schlechten Ergebnisses (CPC 3 bis 5) sowohl bei Entlassung aus dem Krankenhaus als auch nach 6 Monaten aufwies [305]. In ähnlicher Weise prognostizierte der ERC-ESICM-Algorithmus in einer größeren Single-Center-Kohorte mit 485 komatösen reanimierten Patienten eine CPC 3–5 mit 0 % FPR bei 155 Patienten [406]. Unter den verbleibenden 330 Patienten, die keinen relevanten Prädiktor (oder eine Kombination von Prädiktoren) für ein schlechtes Outcome auswiesen, erreichten zwei Drittel nach 3 Monaten ein gutes neurologisches Ergebnis. In einer retrospektiven multizentrischen Studie, die 585 Patienten aus der TTM-Studie umfasste, hatte der ERC-ESICM-Algorithmus eine FPR von 0 % (95 % CI 0–1,2 %) für die Vorhersage eines schlechten neurologischen Ergebnisses nach 6 Monaten [316].

Der ERC-ESICM-Prognosealgorithmus von 2015 basierte auf einer Kombination von Prädiktoren, einschließlich Ergebnissen der klinischen Untersuchung (fehlende motorische Reaktion oder Vorhandensein von Streck-synergismen, fehlende Pupillen- und Hornhautreflexe, Status myoklonus), Biomarkern (hohe NSE-Serumwerte),

fehlender EEG-Reaktivität, Burst-Suppression oder Status epilepticus im EEG, beidseits fehlendem N20-SSEP-Potenzial und Bildgebung (Anzeichen einer diffusen anoxischen Hirnschädigung in der CT oder MRT). Die Evidenz für diese Prädiktoren wurden in 2 im Jahr 2013 veröffentlichten Reviews bewertet [301, 302]. Um eine Aktualisierung der vorliegenden Leitlinien zu ermöglichen, wurde ein neuer Review durchgeführt, dessen Ergebnisse in den vorherigen Absätzen dieses Dokuments mit Schwerpunkt auf einzelne Prognosemodalitäten aufgeführt sind [16]. Das Review 2020 bestätigte weitgehend die Ergebnisse des Reviews 2013 und die Zuverlässigkeit der im Algorithmus 2015 vorgeschlagenen Prädiktoren. Es wurden allerdings einige wichtige Unterschiede festgestellt:

- Eine anhaltende 0%ige FPR wurde für fehlende Pupillen- und Hornhautreflexe erst nach dem 4. Tag und nicht nach dem 3. Tag, wie im vorherigen Review, erreicht.
- Die automatisierte Messung des fehlenden Pupillenreflexes mittels Pupillometrie kann eine genauere Vorhersage als die standardmäßige Beurteilung des Pupillenreflexes durch einen Anwender ermöglichen und ist reproduzierbarer.
- Nach ROSC war die Aussagekraft der NSE-Messung im Zeitraum 48–72 h größer als nach 24 h.
- Die niedrige FPR eines EEG mit fehlender Reaktivität bzw. einer diskontinuierlichen EEG-Grundaktivität, die in einigen Studien zu TTM-behandelten Patienten im Review von 2013 dokumentiert wurde, konnte im Review von 2020 nicht bestätigt werden.
- Für den Status epilepticus, einen in den Leitlinien von 2015 vorgeschlagenen Prädiktor, wurde keine einheitliche Definition gefunden.
- Das Vorhandensein einer supprimierten EEG-Grundaktivität oder eines Burst-Suppression-Musters sagte ein schlechtes Ergebnis mit sehr niedriger FPR voraus, insbesondere wenn es 24–72 h nach ROSC aufgezeichnet wurde. In den früheren Reviews war die Evidenz für supprimierte EEG-Muster vernachlässigbar

und die Definitionen der Burst-Suppression uneinheitlich.

- In mehreren Prognosestudien wurde das EEG gemäß der Standardized-Critical-Care-EEG-Terminologie (Version 2012) der American Clinical Neurophysiology Society (ACNS) klassifiziert [407].

Das Potenzial für eine mögliche Verzerrung von Studienergebnissen war für die meisten verfügbaren Studien hoch. Wie in früheren Übersichten war eine wesentliche Einschränkung in den meisten Studien das Fehlen einer Verblindung. Darüber hinaus wurden mehrere Prädiktoren für ein schlechtes neurologisches Ergebnis als Kriterien für einen Entzug lebenserhaltender Maßnahmen (WLST) verwendet. In beiden Fällen könnte dies zu einer sich selbst erfüllenden Prophezeiung geführt haben. Der Review 2020 umfasste hingegen Studien, in denen kein WLST durchgeführt wurde, wodurch das Risiko einer sich selbst erfüllenden Prophezeiung begrenzt wurde [303, 361, 390, 396, 401]. In diesen Studien bewertete Prädiktoren umfassen das EEG, SSEP (somatosensorisch evozierte Potenziale) und die CCT. Basierend auf den Ergebnissen des Reviews aus 2020 bleiben die meisten Empfehlungen des Prognosealgorithmus 2015 gültig.

Vorgeschlagene Prognosestrategie

Die prognostische Beurteilung soll mit einer genauen klinischen Untersuchung beginnen [408]. Der Schwerpunkt besteht in der Bestätigung, dass der Patient aufgrund einer hypoxisch-ischämischen Hirnschädigung komatös ist. Die klinische Untersuchung soll täglich durchgeführt werden, um Anzeichen einer neurologischen Erholung wie gezielte Bewegungen festzustellen oder um ein klinisches Bild zu identifizieren, das auf einen bevorstehenden Hirntod hindeutet. Letzteres kann weite, lichtstarre Pupillen, einen Diabetes insipidus und kardiovaskuläre Veränderungen umfassen, die auf eine Hirnstamm-Einklemmung (Herniation) hinweisen, wie Bradykardie im Zusammenhang mit Hypertension oder eine anderweitig nicht erklärbare hämodynamische Instabilität. An Hirntod versterben 5–10 % der Patienten, die

konventionell reanimiert wurden, und etwa 25 % der Patienten, die eine extrakorporale CPR (eCPR) erhielten [289]. In den meisten Fällen tritt der Hirntod in den ersten 3–4 Tagen nach ROSC auf. Einen Vorschlag für das Hirntod-Screening nach Kreislaufstillstand enthält der Algorithmus in **Abb. 7**. Die Konsensgruppe des World Brain Death Project (WBDP) hat detaillierte Leitlinien zur Bestimmung des Hirntods nach Behandlung mit zielgerichtetem Temperaturmanagement (TTM) veröffentlicht [19].

Die meisten Patienten erwachen nach einem Kreislaufstillstand innerhalb von 3 bis 4 Tagen nach ROSC aus dem Koma [205, 308]. Patienten, die nach einem Kreislaufstillstand zunächst bewusstlos sind, werden jedoch normalerweise mit Analgetika, Sedativa und Muskelrelaxanzien behandelt, um ein zielgerichtetes TTM zu ermöglichen und die kontrollierte Beatmung und andere lebenserhaltende Maßnahmen zu erleichtern. Um eine zuverlässige klinische Untersuchung zu ermöglichen, sollen diese Arzneimittel daher ausreichend lange abgesetzt werden, um eine Überlagerung durch ihre Wirkung auszuschließen. Die WBDP-Konsensgruppe empfiehlt, die klinische Untersuchung erst nach mindestens 5 Eliminationshalbwertszeiten des Arzneimittels mit der längsten Halbwertszeit durchzuführen [19]. Obwohl diese Empfehlung im Zusammenhang mit der Diagnose des Hirntods ausgesprochen wurde, ist sie für die prognostische Beurteilung gleichermaßen relevant, wenn dies zur Entscheidungsfindung hinsichtlich des Entzugs lebenserhaltender Maßnahmen (WLST) verwendet wird. Kurzwirksame Medikamente sollen möglichst bevorzugt werden, aber selbst ein kurzwirkendes Medikament wie Propofol hat eine Halbwertszeit von 2,3 bis 4,7 h, was bedeutet, dass Sedativa in den meisten Fällen für mindestens 24 h abgesetzt werden müssen. Die Halbwertszeit ist deutlich länger, wenn eine Nieren- und/oder Leberfunktionsstörung vorliegt oder wenn länger wirkende Medikamente verabreicht wurden. Wenn der Verdacht auf einen Überhang der Analgetika, Sedativa oder Muskelrelaxanzien besteht, sollen Antidota eingesetzt werden, um die Wir-

kung dieser Medikamente aufzuheben. Flumazenil zur Antagonisierung von Benzodiazepinen sollte zurückhaltend eingesetzt werden, um die Provokation von epileptischen Anfällen zu vermeiden. Neben einer (Analgo-)Sedierung und neuromuskulärer Blockade stellen Hypothermie, schwere Hypotonie, Sepsis sowie Stoffwechsel- oder Atemstörungen andere wesentliche Probleme dar.

Eine schlechte motorische Reaktion hat eine relativ geringe Spezifität, aber eine hohe Sensitivität für die Vorhersage eines schlechten neurologischen Ergebnisses nach Kreislaufstillstand. Daher kann die motorische Reaktion verwendet werden, um Patienten zu identifizieren, die eine Prognoseabschätzung benötigen. Eine fehlende motorische Reaktion oder Streckesynergismen ($M \leq 2$) gemäß Glasgow Coma Scale (GCS) war das Einstiegs-kriterium des Prognosealgorithmus von 2015. Jüngste Erkenntnisse zeigten jedoch, dass die Verwendung von $M \leq 3$ als Einstiegs-kriterium die Sensitivität für die Vorhersage eines schlechten Ergebnisses erhöht, ohne die Spezifität zu verringern [316, 409]. Die unten beschriebene Prognosestrategie gilt für Patienten, die ≥ 96 h nach ROSC komatös sind und eine motorische Reaktion (M) von 3 oder weniger (abnormale Beugung, Streckung oder keine Reaktion) aufweisen. Zu diesem Zeitpunkt werden auch Ergebnisse früherer Prognosetests berücksichtigt.

Es soll aktiv nach Anzeichen gesucht werden, die auf ein Potenzial für eine Erholung hinweisen. Diese werden häufig früh im klinischen Verlauf nach Reanimation identifiziert. In einer Studie an 357 komatösen Überlebenden eines Kreislaufstillstands sagte ein unauffälliges EEG (normale Grundrhythmen und -muster, keine niedrigamplitudigen Muster, keine epileptiformen Entladungen), das innerhalb von 24 h nach ROSC aufgezeichnet wurde, ein gutes neurologisches Ergebnis mit 76 % [69–82] Sensitivität und 88 % [82–92] Spezifität voraus [341]. Bei 250 Patienten mit unbestimmtem Reanimationserfolg am Tag 3 gemäß dem ERC-ESICM-Prognosealgorithmus von 2015 war das Vorhandensein eines benignen EEG in 184 Fällen mit einem guten neurologischen Ergebnis verbunden (positiver Vorhersagewert 74 %;

[406]). Unter 14 Patienten, die sich erholten, nachdem ihr Outcome in einer anderen Validierungsstudie als unbestimmt definiert wurde, hatte die Mehrheit niedrige und abnehmende NSE-Werte und alle bis auf einen hatten Kammerflimmern im anfänglichen EKG [316]. Andere potenziell nützliche Indizes für ein gutes neurologisches Ergebnis sind das Fehlen von Diffusionsänderungen bei der MRT des Gehirns und niedrige Plasmaproteine des Proteins Neurofilament-light-chain (NFL, Biomarker für Neurodegeneration) innerhalb von 72 h nach ROSC [234, 392, 400, 401]. Jüngste Erkenntnisse zeigen, dass ein benignes EEG nicht mit dem Vorhandensein anderer Prädiktoren für ein schlechtes neurologisches Ergebnis assoziiert ist, insbesondere beidseits fehlendes N20-SSEP-Potenzial (somatosensorisch evozierte Potenziale, SSEP; [410–412]). Wenn Prädiktoren für eine mögliche neurologische Erholung mit anderen Prädiktoren zusammentreffen, welche auf ein schlechtes Ergebnis hinweisen, besteht die Möglichkeit, dass letztere Anzeichen falsch-positiv sind. Wir empfehlen, in diesem Fall die Ergebnisse der Prognoseindizes neu zu bewerten und die Tests zu wiederholen.

Bei einem komatösen Patienten mit $M \leq 3$ bei ≥ 72 h seit ROSC ist ohne Störfaktoren ein schlechtes Ergebnis wahrscheinlich, wenn 2 oder mehr der folgenden Prädiktoren vorliegen: keine Pupillen- und Hornhautreflexe bei ≥ 72 h, beidseits fehlendes N20-SSEP-Potenzial bei ≥ 24 h, hochmalignes EEG bei > 24 h, NSE $> 60 \mu\text{g/l}$ bei 48 h und/oder 72 h, Status myoklonus ≤ 72 h oder eine diffuse und ausgedehnte anoxische Hirnschädigung in der CT/MRT. Die meisten dieser Zeichen können weniger als 72 h nach ROSC beobachtet werden, ihre Ergebnisse werden jedoch nur zum Zeitpunkt der klinischen Prognoseerstellung gewertet. Eine kürzlich durchgeführte Studie hat gezeigt, dass eine Strategie mit Verwendung von ≥ 2 Prädiktoren eine 0 % [0–8] FPR aufwies, verglichen mit 7 % [1–18] der schrittweisen ERC-ESICM-Strategie von 2015 (aufgrund falsch-positiver Ergebnisse für die Lichtreaktion der Pupillen; [413]).

Aus den beiden Reviews von 2013 und 2020 geht hervor, dass eine bilateral fehlende N20-SSEP-Welle der am häufigsten dokumentierte Prädiktor für ein schlechtes Ergebnis ist und am häufigsten mit einer 100%igen Spezifität in Verbindung gebracht wird. Gelegentlich wurde jedoch von falsch-positiven Vorhersagen berichtet. In einigen dieser Fälle war die Ursache für ein falsch-positives Ergebnis eine inkorrekte Interpretation des SSEP-Datensatzes aufgrund von Artefakten [414]. Eine neuromuskuläre Blockade verbessert die Interpretierbarkeit von SSEP und soll nach Möglichkeit erfolgen [415].

Die Lichtreaktion der Pupillen und der Hornhautreflex sind ebenfalls sehr spezifisch für ein schlechtes Ergebnis, wenn sie 72 h oder länger nach ROSC bilateral fehlen. Basierend auf Expertenmeinungen schlagen wir vor, dass beide Reflexe zum Zeitpunkt der prognostischen Beurteilung fehlen sollen, damit sie ein schlechtes Ergebnis zuverlässig vorhersagen können. Anders als bei SSEP kommt es durch eine Sedierung zu Störungen der Augenreflexe. Außerdem können Hornhautreflexe durch Muskelrelaxanzien beeinflusst werden. Diese Störfaktoren sollen ausgeschlossen werden, bevor Augenreflexe bewertet werden. Die visuelle Beurteilung der Pupillenreaktion auf Licht kann beeinträchtigt sein, wenn die Pupillengröße weniger als 6 mm beträgt [311]. Begrenzte Daten zeigen, dass bei reanimierten komatösen Patienten die automatisierte Pupillometrie zur Beurteilung der Lichtreaktion empfindlicher als die visuelle Beurteilung ist, wenn die Pupillengröße klein ist. Die Pupillometrie verringert daher das Risiko falsch-positiver Ergebnisse [313]. Im Gegensatz zur visuellen Pupillenbeurteilung durch einen Anwender arbeitet die automatisierte Pupillometrie mit einer Lichtquelle mit standardisierten Eigenschaften (Intensität, Dauer und Abstand zum Auge) und misst die Pupillenreaktion quantitativ, wodurch die Reproduzierbarkeit sichergestellt wird. Aus diesem Grund empfehlen wir, eine fehlende Pupillenreaktion auf Lichteinfall mit einem Pupillometer festzustellen, falls verfügbar.

Ein Status myoklonus ist eine längere Zeitspanne von myoklonischen Muskelzuckungen. Obwohl es keine universelle Definition für den Status myoklonus gibt, schlagen wir auf der Grundlage unserer vorherigen Definition [1] vor, dass bei komatösen Überlebenden eines Kreislaufstillstands der Status myoklonus als kontinuierlicher und generalisierter Myoklonus von 30 min Dauer oder länger definiert werden soll. Im Review 2020 wurde der Status myoklonus in zwei Studien dokumentiert. Eine der Studien verwendete eine Definition, die mit der oben verwendeten vergleichbar ist. Insgesamt gab es unter 113 Patienten, die diesen Befund zeigten, nur ein falsch-positives Ergebnis. Neben der Dauer und Kontinuität deuten weitere Merkmale des Myoklonus auf ein schlechtes Ergebnis hin. Dazu gehören eine generalisierte (vs. fokale), eine axiale (vs. distale) oder eine stereotypische (vs. variabler) Verteilung. Umgekehrt weisen einige EEG-Merkmale auf ein potenziell günstiges Ergebnis hin, wie z. B. eine kontinuierliche oder eine reaktive Hintergrund-Aktivität im EEG oder das Vorhandensein von Spike-Wave-Entladungen, welche mit den myoklonischen Muskelzuckungen synchronisiert sind [184]. Wir empfehlen, bei Patienten mit Postarrestmyoklonien ein EEG aufzuzeichnen, um sowohl eine epileptiforme Aktivität als auch Anzeichen für eine mögliche Genesung zu erkennen.

Zu den ungünstigen EEG-Mustern, die wahrscheinlicher mit einem schlechten Ergebnis assoziiert sind, zählen ‚Suppression‘ und ‚Burst-Suppression‘-Muster. Gemäß ACNS-Definition liegt eine Suppression (niedrigamplitudige bis isoelektrische EEG-Muster) im Hintergrund-EEG vor, wenn >99% der EEG-Perioden eine Spannung von weniger als 10 μV aufweisen. Burst-Suppression ist hingegen definiert als Vorliegen von Suppressionsphasen <10 μV im Bereich von 50 bis 99% der Ableitung, wobei sich Suppressionen mit Bursts abwechseln. In den Reviews 2013 waren die Definitionen dieser Muster inkonsistent. Wir empfehlen, bei der Bewertung dieser Prognosemuster die ACNS-Terminologie zu verwenden, um eine eindeutige Identifizierung sicherzustellen [190]. Während der ersten 12–24 h nach ROSC haben bei-

de Muster eine höhere Prävalenz, aber auch ein höheres Risiko für falsch-positive Vorhersagen. Sedativa, die zur Durchführung eines TTM verwendet werden, können zu Fehlinterpretationen beitragen. Wir empfehlen, diese EEG-Muster erst 24 h nach ROSC für die Prognose zu verwenden. Das Fehlen einer Aktivität im Hintergrund-EEG weist eine inkonsistente Spezifität für ein schlechtes neurologisches Ergebnis auf, und wir empfehlen, es nicht mehr für diesen Zweck zu verwenden.

Hohe NSE-Serumwerte sind ein Zeichen für eine Schädigung neuronaler Zellen und werden seit Langem als Prädiktor für ein schlechtes neurologisches Ergebnis nach Kreislaufstillstand empfohlen [416]. Es besteht jedoch immer noch Unsicherheit darüber, welche Zeitpunkte und Grenzwerte optimal sind. Evidenz aus unserem Review zeigte, dass die Vorhersage mit 0% FPR zwar jederzeit von 24 h bis 7 Tage nach ROSC erreicht werden kann, die Sensitivität einer einzelnen NSE-Messung für die Vorhersage eines schlechten neurologischen Ergebnisses mit 0% FPR jedoch nach 48–72 h nach ROSC am höchsten ist [16]. Unser Review bestätigte jedoch, dass der NSE-Schwellenwert für 0% FPR aufgrund einiger weniger Patienten mit gutem neurologischem Ergebnis trotz sehr hoher NSE-Werte inkonsistent ist. Das Vorhandensein dieser Ausreißer kann teilweise durch die Freisetzung von NSE aus extrazerebralen Quellen wie Erythrozyten oder neuroendokrinen Tumoren erklärt werden. Bei Verwendung von NSE zur Neuroprognostikation werden eine wiederholte Blutentnahme und ein sorgfältiger Ausschluss extrazerebraler Quellen empfohlen. Eine weitere Ursache für die Variabilität der NSE-Schwellenwerte sind die verschiedenen verwendeten Messtechniken [384]. In unserem Review im Jahr 2020 betrogen die höchsten aufgezeichneten NSE-Schwellenwerte für 0% FPR nach 48 und 72 h nach ROSC 120 $\mu\text{g L}^{-1}$ und 79 $\mu\text{g L}^{-1}$. Diese Daten beziehen sich jedoch auf Ausreißer, und in den meisten Studien betrug der FPR-Schwellenwert von 0% 60 $\mu\text{g L}^{-1}$ bzw. 50 $\mu\text{g L}^{-1}$. Basierend auf diesen Daten nehmen wir an, dass das Risiko einer falsch-positiven Vorhersage

in Verbindung mit einem NSE-Wert von $60 \mu\text{g L}^{-1}$ minimal ist, insbesondere weil das NSE-Signal von mindestens einem anderen Prädiktor bestätigt werden soll. Wir empfehlen jedoch, dass Krankenhausalabors, die NSE verwenden, ihre eigenen Normalwerte und Grenzwerte basierend auf dem verwendeten Testkit erstellen. Ein Anstieg der NSE-Werte zwischen 24 h und 48 h oder zwischen 24/48 h und 72 h deutet ebenfalls auf ein schlechtes Ergebnis hin, selbst wenn der zunehmende prognostische Wert des Hinzufügens von NSE-Trends zu einem einzelnen NSE-Wert ungewiss ist [16, 378, 382]. Wir empfehlen, 24, 48 und 72 h nach ROSC serielle NSE-Bestimmungen durchzuführen, damit NSE-Trends erkannt und Störungen durch gelegentliche Hämolyse minimiert werden können.

Anzeichen einer diffusen und ausgedehnten hypoxisch-ischämischen Hirnverletzung bei der Hirn-CT sind eine Auslöschung der kortikalen Sulci und eine verringerte Ventrikelgröße (hauptsächlich aufgrund eines vasogenen Ödems) sowie eine verringerte Dichte der grauen Substanz mit Verringerung oder Verlust der Abgrenzung von grauer zu weißer Substanz (GM/WM) aufgrund eines zytotoxischen Ödems. In einem Review wurde in einer Studie der erste Befund qualitativ ermittelt [397], basierend auf der visuellen Bewertung durch einen Neuroradiologen, während die meisten Studien die reduzierte bzw. fehlende Weiß-grau-Differenzierung (GWR), gemessen in Hounsfield-Einheiten verwendeten. Dies wurde im Allgemeinen innerhalb von 2 h nach ROSC durchgeführt, aber einige Studien bewerteten die GWR innerhalb von 24 h [304, 389] und eine innerhalb von 72 h. [391] Wie bei anderen Prädiktoren, die auf kontinuierlichen Variablen basieren, variierten die GWR-Grenzwerte für 0 % FPR zwischen den Studien, vermutlich aufgrund von Variationen in den Methoden zur GWR-Berechnung, der Software oder der Scannereigenschaften [16].

Eine hypoxisch-ischämische Hirnverletzung verringert die Wasserdiffusionsfähigkeit, die bei der Magnetresonanztomographie (MRT) als Hyperintensität bei diffusionsgewichteten Bildgebungssequenzen mit entsprechend

niedrigen Werten für den erkennbaren Diffusionskoeffizienten (ADC) auftritt. Bei schweren hypoxisch-ischämischen Hirnschädigungen betrifft die Hyperintensität des DWI in ausgedehnter Form die Großhirnrinde sowie die Basalganglien. Die Messung des ADC ermöglicht eine quantitative Beurteilung des Schweregrads von Diffusionsänderungen. In Studien zur Prognose nach Kreislaufstillstand wurden 3 Methoden zur ADC-Messung beschrieben: der mittlere globale oder regionale ADC-Wert des Gehirns, [404] der Anteil von Voxeln mit niedrigem ADC, ADC, [405] und die maximale Größe der MRI-Cluster mit minimalem ADC [403]. Alle diese Studien identifizierten ADC-Schwellenwerte für 0 % FPR, häufig mit einer entsprechend hohen Empfindlichkeit. Diese Schwellenwerte waren jedoch innerhalb derselben Studie und derselben Technik in verschiedenen Bereichen des Gehirns uneinheitlich.

Aufgrund der fehlenden Standardisierung der Messmethoden und des Fehlens multizentrischer Validierungsstudien mit vergleichbaren Messtechniken empfehlen wir, auf Neurobildgebung basierende Vorhersageindizes nur in Einrichtungen zu verwenden, in denen spezifische Erfahrungen verfügbar sind. Wir schlagen außerdem vor, dass Zentren, die Neurobildgebung zur Prognose nach Kreislaufstillstand verwenden, ihre eigenen Normwerte und Grenzwerte, basierend auf der verwendeten Technik, erstellen.

Wenn keines der oben beschriebenen Kriterien für ein schlechtes Ergebnis vorliegt, bleibt der neurologische Ausgang unbestimmt (■ Abb. 5). Wir empfehlen daher die Beobachtung und wiederholte Neubewertung von Patienten mit unklarem Ergebnis, um Anzeichen eines Erwachens festzustellen. In 3 Studien an reanimierten komatösen Patienten, die 24 h lang mit TTM behandelt wurden, betrug die Prävalenz des späten Erwachens, definiert als Wiederherstellung des Bewusstseins nach ≥ 48 h nach Beenden der Sedierung, 20/89 (22 %; [417]), 56/194 (29 %; [308]) und 78/228 (34 %; [207]). Die letzten Patienten erwachten am 11. und 12. Tag, bzw. am 23. Tag nach Absetzen der Sedierung. In 2 wei-

teren Studien erwachte der letzte Patient am 22. bzw. am 29. Tag [406, 418]. Organfunktionsstörungen, wie z. B. ein Postreanimationsschock- oder Nierenversagen [207, 308], und die Verwendung von Midazolam anstelle von Propofol zur Sedierung [207, 268] waren mit einer höheren Wahrscheinlichkeit eines späten Erwachens verbunden, was darauf hindeutet, dass zumindest einige Fälle davon auf eine verringerte Clearance der Sedierung zurückzuführen sein könnten. In einer Vorher-Nachher-Studie wurde bei 460 Patienten, die nach Reanimation komatös blieben und mit TTM behandelt wurden, 2 Sedierungsschemata (Propofol-Remifentanyl vs. Midazolam-Fentanyl) verglichen. Die Verwendung von Propofol-Remifentanyl war mit einer signifikant geringeren Wahrscheinlichkeit eines verzögerten Erwachens verbunden (OR 0,08 [0,03–0,2]; [308]), was indirekte Evidenz aus einer früheren kleineren Studie bestätigt [267].

Ein verzögertes Erwachen schließt eine vollständige neurologische Erholung nicht aus. Bei reanimierten Patienten, die komatös bleiben, nimmt die Wahrscheinlichkeit des Erwachens mit der Zeit allerdings progressiv ab. Vergleicht man die Zeiträume des Wachwerdens, sind die Raten für ein gutes neurologisches Ergebnis im Allgemeinen umso niedriger, je später die Patienten wach werden [207, 308, 418].

Die vorliegenden Leitlinien gelten nur für die neurologische Prognose. Neben der hypoxisch-ischämischen Hirnschädigung gehören zu den anderen, wenn auch weniger häufigen Todesursachen bei reanimierten komatösen Patienten kardiovaskuläre Instabilität [26] und Multiorganversagen [306, 307]. Diese Faktoren können, unabhängig vom neurologischen Status des Patienten, zu Behandlungslimitationen führen oder auch nach einer neurologischen Erholung zum Tod infolge einer nichtneurologischen Ursache führen [298, 310, 419]. In der klinischen Praxis soll ein umfassender prognostischer Ansatz bei reanimierten komatösen Patienten in jedem Fall den Einfluss extrazerebraler Faktoren sowie von Patientencharakteristika wie Alter, Komorbiditäten und den Patientenzustand berücksichtigen.

Abbruch der lebenserhaltenden Therapie oder Therapiezieländerung

Nur ein kleiner Teil der reanimierten Patienten, die auf einer Intensivstation behandelt werden, stirbt in den ersten Tagen aufgrund einer Herz-Kreislauf-Dysfunktion oder eines massiven Hirnödems, welches zum Hirntod führt. Die meisten Todesfälle hingegen basieren auf der Entscheidung, die lebenserhaltende Therapie (WLST) abzubrechen [25, 26, 29, 306]. Im Allgemeinen ist die Annahme, dass das endgültige neurologische Ergebnis des Patienten schlecht sein wird, von zentraler Bedeutung für diese Entscheidung [29]. Bereits bestehende Komorbiditäten können ebenfalls zu einer WLST-Entscheidung beitragen [25]. Das klinische Team, das die Prognose eines einzelnen Patienten diskutiert, muss zwei Aspekte berücksichtigen: Einerseits kann eine unangemessen pessimistische Prognose bei Patienten, die ansonsten möglicherweise ein gutes funktionelles Ergebnis erzielt hätten, zum Abbruch lebenserhaltender Maßnahmen führen. Andererseits kann eine starke Zurückhaltung bei der Entscheidungsfindung dazu führen, dass der Patient schwerbehindert überlebt, was weder durch ihn selbst noch durch die Angehörigen erwünscht sein dürfte [420]. Patienten erhalten entweder keine spezifische Therapie, weil sie nicht verfügbar ist oder weil aktiv entschieden wird, diese zurückzuhalten. Die Hauptgründe für einen Therapieverzicht liegen darin, dass die Therapie dem Patienten nicht zugute kommt oder, falls bekannt, der Wunsch des Patienten besteht, keine spezifische Therapie zu erhalten [420, 421]. Es gibt nur wenige spezifische Daten zum Verzicht auf lebenserhaltende Therapien bei Patienten nach Kreislaufstillstand.

Die Praxis des Abbruchs lebenserhaltender Maßnahmen wird europaweit sehr unterschiedlich gehandhabt und hat Einfluss auf den Anteil der Kreislaufstillstandpatienten, die mit schwerer Hirnschädigung (CPC 3–4) überleben. Da keine qualitativ hochwertigen Daten vorliegen, scheint dieser Anteil stark zu variieren, nämlich etwa zwischen 10 und 50 % [246, 303, 419]. Die offensichtlichen

ten Auswirkungen treten bei Patienten auf, die im Wachkoma (CPC 4) bleiben. Zum Beispiel waren in einer nordeuropäischen Studie [246] 1/243 (0,4%) Überlebende nach 6 Monaten in der CPC 4, im Vergleich zu 61/195 (31 %) in einer italienischen multizentrischen Studie [303]. Hinweise auf Unterschiede in der WLST-Praxis in ganz Europa wurden auch in der Ethicus-Studie gefunden: Ärzte aus Südeuropa neigten seltener dazu, die Behandlung abzubrechen als Ärzte aus Nordeuropa. Religiöse Aspekte hatten ebenfalls Einfluss [422]. Die Ethicus-2-Studie hat gezeigt, dass der Abbruch lebenserhaltender Maßnahmen und eine Zurückhaltung bei der Therapie von allgemeinen Intensivpatienten in den letzten 15–20 Jahren zugenommen hat [423].

Aktuelle Studien, die auf dem Prognosticity-Score-Matching basieren, zeigen, dass ein vorzeitiger (<72 h) Abbruch lebenserhaltender Maßnahmen aus neurologischen Gründen häufig vorkommt und die Todesursache für einen erheblichen Teil der Patienten sein könnte, die sich nach einer länger dauernden Intensivbehandlung möglicherweise neurologisch erholt hätten [424, 425]. Der Hirnstamm ist, verglichen mit dem Großhirn, unempfindlicher gegen hypoxisch-ischämische Schädigungen und die Wiederherstellung von Funktionen wie Spontanatmung und Schlaf-Wach-Zyklus ist Teil des Wegs zu einem Wachkoma. Der Zeitraum, in dem der Patient noch auf der Intensivstation ist, wird manchmal als „Zeitfenster, welches dem Tod Gelegenheit bietet“ bezeichnet [426]. Diese Wahrnehmung kann ein Gefühl der Dringlichkeit bei den Angehörigen und dem Behandlungsteam hervorrufen, das sich indirekt auf Entscheidungen über vorzeitige WLST auswirkt [427, 428]. In einer qualitativen Studie wurden Probleme in der Kommunikation zwischen Familie und Team als wichtiger Faktor für einen vorzeitigen Entzug lebenserhaltender Maßnahmen nach Kreislaufstillstand identifiziert [428]. Die Vermeidung von Unsicherheit durch die betreuenden Teams kann ebenfalls eine Rolle spielen und zu übermäßig pessimistischen

Wahrnehmungen der Prognose führen [429].

Obwohl einige Tests eine hohe Spezifität für die Vorhersage eines schlechten Ergebnisses vor 72 h zeigen, empfehlen wir, Schlussfolgerungen über die neurologische Prognose im Allgemeinen auf mindestens 72 h nach dem Kreislaufstillstand zu verschieben und den Einfluss von Sedativa und Stoffwechselfaktoren auszuschließen. Dies ermöglicht es den meisten Patienten mit gutem Outcome, vor der Prognoseeinschätzung aufzuwachen, wodurch das Risiko falscher Vorhersagen verringert wird [268]. Wir empfehlen lokale Protokolle, wie Informationen über das Ausmaß von Hirnschädigungen in den ersten Tagen gesammelt werden können. Verwenden Sie alle verfügbaren Ressourcen, um eine multimodale Bewertung vorzunehmen [10, 16]. Verwandte benötigen regelmäßig klare und strukturierte Informationen und ein Verständnis ihrer Rolle bei der Entscheidungsfindung. Frühindikatoren für eine schlechte Prognose können in ausgewogener Weise übermittelt werden, um die Angehörigen über die ernste Situation zu informieren und Zeit für Anpassungen zu schaffen, bevor kritische Entscheidungen getroffen werden. Die Pflegekräfte am Krankenbett sind mit trauernden Angehörigen konfrontiert, was sehr stressig sein kann [428]. Planen Sie ausreichend Zeit für die Kommunikation über die Prognose innerhalb des Teams und mit den Verwandten ein [430].

Obwohl die Beurteilung der neurologischen Prognose nach Kreislaufstillstand und Diskussionen über den Entzug lebenserhaltender Maßnahmen sehr häufig miteinander verknüpft sind, sollen Sie versuchen, diese Prozesse in Diskussionen und Dokumentationen zu trennen. Entscheidungen über den Entzug lebenserhaltender Maßnahmen müssen auch andere Aspekte als die wahrgenommene Hirnschädigung berücksichtigen, z. B. Alter, Komorbiditäten und die Prognose für die allgemeinen Organfunktionen [25]. Aus ethischen Gründen kann ein Entzug lebenserhaltender Maßnahmen daher für Patienten in Betracht gezogen werden, bei denen die neurologische Prognose ungewiss oder sogar günstig ist. Umgekehrt kann die Intensivtherapie

trotz schlechter neurologischer Prognose verlängert werden, da für einen einzelnen Patienten keine absolute Sicherheit erreicht werden kann [431]. Die Präferenzen des Patienten sind von zentraler Bedeutung. Da der Patient nicht gefragt werden kann und Patientenverfügungen bei Patienten mit Kreislaufstillstand selten sind, sind die Angehörigen normalerweise die Hauptinformationsquelle über die wahrscheinlichen Wünsche des Patienten.

Langzeitergebnisse nach Kreislaufstillstand

Langfristiger Reanimationserfolg

In Ländern, in denen WLST nicht weit verbreitet ist, ist ein schlechtes Ergebnis aufgrund einer hypoxisch-ischämischen Hirnschädigung häufig [390, 432]. Die Prognose von Patienten, die einen Monat nach dem Kreislaufstillstand noch im Koma liegen oder nicht mehr wach sind, ist schlecht und sie erholen sich selten [432, 433]. Im Gegensatz dazu wird in Ländern, in denen ein Abbruch lebenserhaltender Maßnahmen (WLST) praktiziert wird, bei der Mehrheit der Überlebenden ein gutes neurologisches Ergebnis definiert, basierend auf Ergebnisparametern, wie z. B. der Cerebral Performance Categories (CPC), der modifizierten Rankin Scale (mRS) oder der Glasgow Outcome Scale/Extended (GOS/E; [293, 414, 434–436]). Diese Skalen sind jedoch nicht sensitiv genug, um die Probleme zu erfassen, mit denen viele Überlebende konfrontiert sind, einschließlich kognitiver, emotionaler und physischer Probleme und Müdigkeit [437–439]. Tatsächlich haben ungefähr 40–50 % der Überlebenden langfristige kognitive Beeinträchtigungen [232, 440, 441]. Beeinträchtigungen sind meist leicht bis mittelschwer, und obwohl alle kognitiven Bereiche betroffen sein können, treten die meisten Probleme im Gedächtnis, in der Aufmerksamkeit, in der Verarbeitungsgeschwindigkeit und bei sog. exekutiven Funktionen auf (z. B. Planung, Organisation, Initiierung, Flexibilität; [232, 437, 440–442]). Im Allgemeinen erfolgt der Großteil der kognitiven Erholung in den ersten

3 Monaten nach dem Kreislaufstillstand [443–445].

Emotionale Probleme treten ebenfalls häufig auf. Drei bis sechs Monate nach dem Kreislaufstillstand berichten 15–30 % der Überlebenden von Angst; diese besteht nach 12 Monaten noch bei 15–23 % [446–448]. Depressive Symptome reichen von 13 bis 32 % nach 3–6 Monaten und nehmen nach 12 Monaten auf 5–15 % ab [446–449]. Die Symptome von posttraumatischem Stress bleiben bei etwa einem Viertel der Überlebenden bestehen [438, 446, 449, 450]. Darüber hinaus zeigen einige Überlebende Verhaltensprobleme wie aggressives/ungehemmtes Verhalten oder emotionale Labilität [441].

Von Müdigkeit wird ebenfalls häufig berichtet, diese tritt nach 6 Monaten bei etwa 70 % der Überlebenden auf und besteht ein Jahr nach dem Ereignis bei der Hälfte der Überlebenden [446, 451, 452]. Über körperliche Probleme, einschließlich Rippenfrakturen, Muskelschwäche und Gehschwierigkeiten, wurde ebenfalls berichtet [439, 446, 453, 454]. Der Einfluss des Überlebens auf die körperliche Funktion hat jedoch bisher wenig Beachtung gefunden. Im Vergleich zu alters- und geschlechtsentsprechenden Bevölkerungsgruppen wurde bei Überlebenden nach 3 Monaten [455], nach 6 Monaten [454], nach 12 Monaten [436] und 3 Jahren von einer verminderten körperlichen Funktionsfähigkeit berichtet [453]. Fast die Hälfte der Überlebenden gibt Einschränkungen aufgrund körperlicher Schwierigkeiten nach 6 Monaten an [454], wobei bis zu 40 % Mobilitätsprobleme beschreiben und Einschränkungen bei üblichen Aktivitäten nach 12 Monaten [436, 446, 456].

Nach der Entlassung können die meisten Überlebenden nach Hause zurückkehren und nur ein kleiner Prozentsatz (1–10 %) muss in eine Langzeitpflegeeinrichtung verlegt werden [446, 456, 457]. Die große Mehrheit (82–91 %) ist in ihren grundlegenden Aktivitäten des täglichen Lebens (ATL) unabhängig [231, 440, 453, 456]. Obwohl die meisten Überlebenden in der Lage sind, ihre Aktivitäten von vor dem Kreislaufstillstand wieder aufzunehmen, erleben sie mehr Einschrän-

kungen der sozialen Kontakte im Vergleich zu Patienten mit Myokardinfarkt [446, 452]. Kognitive Beeinträchtigungen, Depressionen, Müdigkeit und eingeschränkte Mobilität sind negative Prädiktoren für die zukünftige Teilnahme am gesellschaftlichen Leben [452].

Von denjenigen, die zuvor gearbeitet haben, können 63–85 % zur Arbeit zurückkehren, obwohl einige ihre Arbeitszeiten oder die Art der Tätigkeit anpassen müssen [436, 446, 452, 453, 456, 458–460]. Eine verringerte Wahrscheinlichkeit einer Rückkehr zur Arbeit ist mit kognitiven Problemen und Müdigkeit, nicht beobachtetem prähospitalen Kreislaufstillstand, fehlender CPR durch Anwesende, weiblichem Geschlecht, höherem Alter und niedrigerem sozioökonomischen Status verbunden [452, 455, 458–460].

Kognitive Beeinträchtigungen, emotionale Probleme und weibliches Geschlecht sind mit einer geringeren Lebensqualität verbunden [436, 444, 454, 455, 461–466]. Die allgemeine gesundheitsbezogene Lebensqualität wird jedoch im Durchschnitt als gut angegeben, wobei sich die Gesamtwerte den normalen Bevölkerungswerten annähern, wie in zwei systematischen Übersichten gezeigt und in mehreren aktuellen Studien bestätigt wurde [231, 436, 456, 467, 468]. Solche allgemeinen Bewertungen sind nicht ausreichend detailliert, um die Bandbreite der Probleme der Überlebenden umfassend zu erfassen, sodass die Auswirkungen des Überlebens des Kreislaufstillstands möglicherweise unvollständig erfasst werden [293]. Es wird empfohlen, eine solche allgemeine Bewertung durch eine zustands- oder problemspezifische Bewertung zu ergänzen [293].

Ausführlichere Informationen zur Genesung und zum Langzeitergebnis nach Kreislaufstillstand sowie eine Beschreibung der aktuellen Rehabilitationspraktiken in Europa finden Sie im Abschnitt Epidemiologie der Leitlinien 2021 des European Resuscitation Council [469].

Beurteilung und Nachsorge im Krankenhaus und nach Entlassung

Frühzeitige Rehabilitation und Beurteilung während der Krankenhausphase.

Es gibt keine Studien zu Frührehabilitationsmaßnahmen für Überlebende nach Kreislaufstillstand, aber es gibt erhebliche Überschneidungen mit dem Postintensivbehandlungssyndrom („post-intensive care syndrome“, PICS). Für andere Intensivpatienten werden Interventionen zur Frühmobilisierung und Delirprävention beschrieben und ähnliche Interventionen werden auch für Patienten nach Kreislaufstillstand als hilfreich angesehen [439, 470–472]. Empfehlungen in den Leitlinien des britischen National Institute for Health and Care Excellence (NICE) für die Rehabilitation nach kritischer Erkrankung legen nahe, dass individuelle Rehabilitationspläne und Informationen vor der Entlassung von der Intensivstation und aus dem Krankenhaus bereitgestellt werden sollen, basierend auf funktionellen Beurteilungen von physischen und nichtphysischen (z. B. kognitiven und emotionalen) Beeinträchtigungen [473]. Eine kürzlich veröffentlichte wissenschaftliche Stellungnahme der AHA zum Thema Überleben nach Kreislaufstillstand zeigt jedoch, dass es an der Entlassungsplanung und der Organisation der anschließenden Rehabilitation häufig mangelt [439].

Wir empfehlen daher, vor der Entlassung aus dem Krankenhaus Informationen bereitzustellen und funktionelle Beurteilungen von körperlichen und nichtkörperlichen Beeinträchtigungen durchzuführen, um den potenziellen Rehabilitationsbedarf zu ermitteln und gegebenenfalls eine Überweisung zur Rehabilitation zu veranlassen (▣ Abb. 6).

Nachsorge und Screening nach Entlassung aus dem Krankenhaus. Obwohl kognitive Beeinträchtigungen, emotionale Probleme und Müdigkeit nach einem Kreislaufstillstand häufig sind, werden diese „unsichtbaren Probleme“ von Angehörigen der Gesundheitsberufe nicht immer erkannt [444, 452, 455, 459, 466]. Da diese Probleme einen erheblichen Einfluss auf das Langzeitergebnis und die Lebensqualität haben, soll die

Nachsorge so organisiert werden, dass diese Probleme frühzeitig erkannt werden und entweder eine angemessene Pflege ermöglicht oder Rehabilitation arrangiert wird [474–476].

Zwar gibt es zu dieser Thematik kaum Evidenz, allerdings konnte eine randomisierte kontrollierte Studie zeigen, dass für Überlebende nach Kreislaufstillstand und ihre Betreuungspersonen ein Frühinterventionsdienst das emotionale Wohlbefinden und die Lebensqualität verbesserte, eine schnellere Rückkehr zur Arbeit ermöglichte und kostengünstig war [477, 478]. Dieses individualisierte Programm wird von einer spezialisierten Pflegeperson angeboten, beginnt kurz nach der Entlassung aus dem Krankenhaus und umfasst 1–6 Konsultationen in den ersten 3 Monaten. Die Intervention besteht aus einem Screening auf kognitive und emotionale Probleme, der Bereitstellung von Informationen und Unterstützung sowie der Überweisung an eine weitere spezialisierte Pflegeperson, falls angezeigt [479, 480]. Es gibt mehrere andere Beispiele dafür, wie die Nachsorge nach einem Kreislaufstillstand organisiert werden kann [476, 481, 482]. Die UK NICE-Leitlinien für die Rehabilitation nach kritischer Erkrankung empfehlen ebenfalls eine Nachsorge und Neubewertung für physische und nichtphysische Probleme 2–3 Monate nach der Entlassung, um verbleibende Probleme und den Bedarf nach weiterer Unterstützung identifizieren zu können [473]. Für Überlebende nach Kreislaufstillstand wurden ebenfalls Neubewertungen nach 3, 6 und 12 Monaten vorgeschlagen [439].

Wir empfehlen daher die systematische Nachsorge aller Überlebenden eines Kreislaufstillstands innerhalb von 3 Monaten nach der Entlassung aus dem Krankenhaus, die zumindest ein kognitives Screening, ein Screening auf emotionale Probleme und Müdigkeit sowie die Bereitstellung von Informationen und Unterstützung für Patienten und ihre Familie umfassen soll (▣ Abb. 6).

Screening auf kognitive Probleme. Um die kognitiven Fähigkeiten zu beurteilen, kann der Patient nach häufigen Beschwerden wie Gedächtnisproble-

men, Aufmerksamkeitschwierigkeiten, Ablenkbarkeit, Langsamkeit im Denken, Reizbarkeit und Problemen bei Initiierung, Planung, Multitasking oder Flexibilität gefragt werden. Familienmitglieder können ebenfalls nützliche Einblicke in Veränderungen in der Wahrnehmung und im Verhalten geben. Ein strukturierter Fragebogen wie der Fragebogen zum kognitiven Rückgang bei älteren Menschen – Version Kreislaufstillstand (Informant Questionnaire of Cognitive decline in the Elderly – Cardiac Arrest version, IQCODE-CA) oder die Checkliste Kognition und Emotion (Checklist Cognition and Emotion, CLCE-24) können verwendet werden [483, 484]. Ein formelles kognitives Screening wird empfohlen, da sich die Patienten ihrer kognitiven Beeinträchtigungen nicht immer bewusst sind [445, 474, 485]. Wir empfehlen die Verwendung des Montreal-Cognitive-Assessment (MoCA)-Tools, welches etwa 10 min beansprucht. Es ist einfach zu verwenden und in vielen Sprachen verfügbar (siehe www.mocatest.org; [482, 485–487]). Wenn Anzeichen einer kognitiven Beeinträchtigung vorliegen, sollen Sie eine Überweisung zu einem Neuropsychologen in Betracht ziehen, um eine umfassendere neuropsychologische Beurteilung vorzunehmen, oder zu einem anderen Spezialisten für kognitive Rehabilitation, z. B. einen Ergotherapeuten [488].

Screening auf emotionale Probleme und Müdigkeit.

Um nach emotionalen Problemen zu suchen, kann das Vorhandensein emotionaler Symptome, einschließlich Symptomen von Angstzuständen, Depressionen und posttraumatischem Stress, untersucht werden. Fragebögen wie die Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS) können hilfreich sein [439, 475, 482, 489]. Wenn schwerwiegende emotionale Probleme festgestellt werden, empfehlen wir die Überweisung an einen Psychologen oder Psychiater zur weiteren Einschätzung und Behandlung. Wir empfehlen zudem festzustellen, ob Müdigkeit vorhanden ist. Derzeit fehlen jedoch Bewertungsleitlinien für diese Population. Bei schwerer Müdigkeit sollen Sie sich

an einen Spezialisten für Rehabilitationsmedizin wenden, um Ratschläge zur angemessenen Versorgung zu erhalten.

Bereitstellung von Informationen und Unterstützung für Überlebende und Familienmitglieder. Es wird empfohlen, festzustellen, ob Patienten und ihre Familienangehörigen Informationen benötigen, und diese bei Bedarf anzubieten, vorzugsweise sowohl in mündlicher als auch in schriftlicher Form [490]. Im Rahmen dieses Prozesses wird empfohlen, dass Überlebende und ihre Familienmitglieder sich aktiv dafür einsetzen, ihre Bedürfnisse besser zu verstehen und zu kommunizieren, wie sie diese Informationen erhalten möchten [439]. Die angebotenen Informationen sollen nicht nur medizinische Themen wie Herzerkrankungen, Risikofaktoren, Medikamente und ICD abdecken, sondern auch andere Themen wie potenzielle körperliche, kognitive und emotionale Veränderungen und Müdigkeit behandeln. Dazu gehört die Wiederaufnahme der täglichen Aktivitäten, das Führen eines Fahrzeugs, die Arbeit, Beziehung und Sexualität [479, 490–493].

Es ist auch wichtig, das Wohlergehen von Familienmitgliedern im Auge zu behalten, da die Auswirkungen und die Belastungen erheblich sein können [492, 494]. Partner haben häufig emotionale Probleme, einschließlich Angstsymptomen und posttraumatischem Stress, insbesondere bei Frauen und solchen, die Zeuge der Reanimation waren [495, 496]. Wenn indiziert, sollen Sie eine Überweisung an einen Sozialarbeiter, Psychologen oder Psychiater in Betracht ziehen.

Rehabilitation nach Kreislaufstillstand

Stationäre neurologische Rehabilitation

Bei Vorliegen einer signifikanten hypoxisch-ischämischen Hirnschädigung können Patienten eine stationäre neurologische Rehabilitation benötigen. Obwohl die Evidenz begrenzt ist, haben mehrere kleine retrospektive Studien gezeigt, dass funktionelle Verbesserungen erzielt werden können, wodurch die Belastung der Familie und der Gesellschaft

durch die Versorgung verringert wird [497–499].

Obwohl spezifische Leitlinien und Evidenz für die neurologische Rehabilitation nach Kreislaufstillstand fehlen, gibt es mehr Evidenz und mehrere klinische Praxisleitlinien für andere Arten erworbener Hirnschädigungen wie traumatische Hirnverletzungen und Schlaganfälle. Diese Praxisleitlinien können Hilfestellung für eine Behandlung von Patienten mit hypoxisch-ischämischen Hirnschäden aufgrund eines Kreislaufstillstands bieten [500–502]. Diese Leitlinien enthalten praktische Empfehlungen zu Themen wie Motorik, körperliche Rehabilitation, Kognition, Kommunikation, Aktivitäten des täglichen Lebens und psychosoziale Probleme. Leitlinien zur Rehabilitation nach kritischer Erkrankung/Postintensivbehandlungssyndrom (PICS) können ebenfalls nützlich sein [473, 503–505].

Kardiale Rehabilitation

Viele Überlebende eines Kreislaufstillstands können sich für ein Herzrehabilitationsprogramm anmelden [506]. Es gibt Hinweise darauf, dass die kardiale Rehabilitation die kardiovaskuläre Mortalität und die Krankenhauseinweisungen senkt, die Lebensqualität verbessert und kosteneffektiv ist [506–509]. Herzrehabilitationsprogramme sind meist allgemeine Programme, bei denen Patienten mit verschiedenen Herzerkrankungen, z. B. mit z. n. akutem Koronarsyndrom, Herzinsuffizienz, oder nach herzchirurgischen Operationen teilnehmen können. Es beinhaltet Bewegungstraining, Risikofaktormanagement, Lebensstilberatung, Anleitung und psychologische Unterstützung [507]. Die kardiale Rehabilitation wird häufig als ambulanter Service in einem Zentrum angeboten, kann jedoch in Kombination mit Telemonitoring auch in einer häuslichen Umgebung organisiert werden [510]. In bestimmten Fällen kann es als stationäres Programm erfolgen [507]. Nicht alle Überlebenden eines Kreislaufstillstands haben Anspruch oder Zugang zur Herzrehabilitation, entweder aufgrund der Ursache des Kreislaufstillstands oder aufgrund unterschiedlicher nationaler Bedingungen [511].

In Herzrehabilitationsprogrammen wird möglichen kognitiven Problemen wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Generell sind bei Herzpatienten in kardialen Rehabilitationsprogrammen kognitive und emotionale Probleme nicht ausreichend angesprochen worden [512–514]. Für Überlebende nach Kreislaufstillstand gibt es allerdings einige Beispiele, bei denen kardiale und kognitive Rehabilitation miteinander integriert wurden, auch wenn bisher keine Evidenz für Effekte vorliegt [476, 482].

Kognitive Rehabilitation, Management von ‚Fatigue‘ und psychosoziale Interventionen

Ziel der kognitiven Rehabilitation ist es, die Auswirkungen kognitiver Beeinträchtigungen zu verringern und das allgemeine Wohlbefinden und das tägliche Zurechtkommen zu verbessern [515]. Dies kann eine zusätzliche neuropsychologische Beurteilung umfassen, um besseren Einblick in die Art und Schwere der kognitiven Beeinträchtigungen sowie weiterer Einflussfaktoren zu erhalten. Eine umfassende Aufklärung der Patienten ist unerlässlich, um dem Patienten und seiner Familie einen besseren Einblick in die Veränderungen seiner Wahrnehmung und seines Verhaltens zu geben. Kompensationsstrategien wie Gedächtnistraining und metakognitives Strategietraining (z. B. Selbstmonitoring, Selbstregulation und Vorausplanung) und die Verwendung externer (Gedächtnis-)Hilfsmittel können hilfreich sein [488]. Obwohl es keine spezifischen Studien zu den Auswirkungen der kognitiven Rehabilitation bei Patienten mit Hirnschäden nach Kreislaufstillstand gibt, kann ein aktuelles, evidenzbasiertes Review zur kognitiven Rehabilitation nach Schlaganfall und Schädel-Hirn-Trauma als Leitlinie dienen [488].

Eine Unterstützung beim Umgang mit chronischer Müdigkeit (‚Fatigue‘) kann in die kognitive Rehabilitation einbezogen oder allein angeboten werden [516, 517]. Es gibt schwache Hinweise darauf, dass eine 4-wöchige telefonische Intervention, die auf einem Energiemanagementprogramm und einer Problemlösungstherapie basiert, für Überlebende

eines Kreislaufstillstands mit mäßiger bis schwerer „Fatigue“ von Vorteil sein kann [518, 519].

Es gibt auch Hinweise auf den Wert von psychosozialen Interventionen, die speziell für Überlebende eines Kreislaufstillstands entwickelt wurden. Zwei randomisierte kontrollierte Studien zeigten den Nutzen von psychosozialen Interventionen, die von Pflegepersonen durchgeführt wurden, entweder telefonisch oder persönlich [520, 521]. Diese Interventionen betrafen Selbstmanagement, Bewältigungsstrategien, Entspannung, Information und Gesundheitserziehung [521, 522].

Derzeit gibt es keine Studien zur Wirksamkeit von sozialen Unterstützungsnetzwerken oder virtuellen bzw. Online-Foren, aber diese können als neue und leicht zugängliche Form der psychosozialen Unterstützung und Informationsbereitstellung im Anschluss an einen Kreislaufstillstand einen zusätzlichen Wert haben [439].

Organspende

Patienten nach Kreislaufstillstand, die komatös bleiben und nicht überleben werden, können Organspender werden. Dies ist ein wichtiger Aspekt, da der Bedarf an Organen das Angebot übersteigt [523]. Patienten nach Kreislaufstillstand sind in zunehmendem Maß Organspender [524]. Diese Leitlinie unterstützt die Organspende, und die Familie soll daher auf die Möglichkeit einer Organspende hingewiesen werden, wenn der Hirntod eintritt oder die Entscheidung getroffen wird, eine lebenserhaltende Therapie abzubrechen.

Diese Leitlinie befasst sich speziell mit den Abläufen einer Organspende nach neurologischem (Hirn-)Tod oder Spende nach Herztod (Spender der Kategorie III nach dem Maastrichter Protokoll – sog. kontrollierter Kreislaufstillstand) bei Patienten, die ROSC erreichen oder mit eCPR behandelt werden (Abb. 7; [525]). Die ungeplante Spende nach Herztod (Spender der Kategorie I/II nach dem Maastrichter Protokoll – Kreislaufstillstand bei Ankunft in der Klinik/Kreislaufstillstand nach erfolgloser Reanimation) wird im

Abschnitt Advanced Life Support der Leitlinien behandelt [525].

Eine frühere ILCOR-CoSTR von 2015 und eine wissenschaftliche Stellungnahme von ILCOR zur Organspende nach CPR untermauern diese Leitlinie [125]. Eine kürzlich stattgefundenen CPR soll eine Organspende nicht verhindern. Beobachtungsstudien zeigen, dass Organe (Herz, Lunge, Niere, Leber, Bauchspeicheldrüse, Darm) von Spendern, die reanimiert wurden, ähnliche Transplantatüberlebensraten aufweisen wie Spender, die keine CPR erhalten haben [526, 527].

Eine systematische Übersichtsarbeit identifizierte 26 Studien, die zeigten, dass die Prävalenz des Hirntods bei komatösen, beatmeten Patienten mit hypoxisch-ischämischer Hirnschädigung, die nach CPR starben, 12,6% (95% CI 10,2–15,2%) betrug, wobei eine höhere Prävalenz nach eCPR (27,9–36,6%; [8, 22] vs. 8,3–10,4%; [6, 7]) auftrat und dass ungefähr 40% davon Organspender waren [289]. Die mittlere Zeit für die Diagnose des Hirntods betrug 3,2 Tage. Dieser systematische Review kam zu dem Schluss, dass Patienten, die nach einer Reanimation bewusstlos bleiben, insbesondere bei e-CPR, auf Anzeichen eines Hirntods untersucht werden sollen.

Bei denjenigen, welche die Kriterien für einen neurologischen Tod nicht erfüllen, ist darüber hinaus der Entzug lebenserhaltender Maßnahmen (WLST) aufgrund einer schlechten neurologischen Prognose eine häufige Todesursache. Nach prähospitalen Kreislaufstillstand entfallen ungefähr zwei Drittel der Todesfälle auf einen Entzug lebenserhaltender Maßnahmen aufgrund einer schlechten neurologischen Prognose [25, 26]. Diese Patientengruppe beinhaltet in zunehmendem Maß potenzielle Organspender [528].

In Bezug auf Organspendepraktiken gibt es zwischen den Ländern Unterschiede und Ärzte müssen die jeweiligen gesetzlichen und ethischen Anforderungen befolgen.

Untersuchung eines plötzlichen Kreislaufstillstands unklarer Ursache

Viele Opfer eines plötzlichen Herztodes leiden an einer asymptomatischen strukturellen Herzerkrankung, meistens an einer KHK, aber auch an angeborenen rhythmogenen Erkrankungen (z. B. Brugada- und WPW-Syndrom), Kardiomyopathien, familiärer Hypercholesterinämie und vorzeitiger ischämischer Herzerkrankung. Bei Betroffenen eines plötzlichen unerklärlichen Tods sollen im Rahmen einer Autopsie Blut- oder Gewebeprobe entnommen und für zukünftige genetische Analysen aufbewahrt werden [529]. Das Screening auf genetische Herzerkrankungen ist für die Primärprävention bei Verwandten von entscheidender Bedeutung, da es eine präventive antiarrhythmische Therapie und medizinische Nachsorge ermöglichen kann [530–532]. Ein multidisziplinäres kardiogenetisches Team soll die Familienuntersuchung durchführen. Die anfängliche Einschätzung kann klinische Untersuchungen, die Elektrophysiologie und kardiale Bildgebung umfassen. Die Notwendigkeit eines Gentests soll auf der Gesamtschau der Ergebnisse des Herzfamilien-Screenings und etwaiger pathologischer Befunde basieren. Ein Gentest soll zunächst mit der DNA des Verstorbenen durchgeführt werden. Wird hierbei eine pathogene oder wahrscheinlich pathogene Variante identifiziert, sollen Gentests auch für die Verwandten angeboten werden [529, 533]. Angesichts der Auswirkungen auf Verwandte kann es lokale ethische Leitlinien für die Durchführung von Gentests geben.

Cardiac-Arrest-Zentren

Hinsichtlich der Verfügbarkeit und Art der Postreanimationsbehandlung und der Behandlungserfolge gibt es große Unterschiede zwischen Krankenhäusern [534–536]. Cardiac Arrest Center (CAC, Reanimationszentren) sind spezialisierte Krankenhäuser, die evidenzbasierte Therapien anbieten, wozu u. a. die permanente Verfügbarkeit eines Platzes auf der Intensivstation, ein zielgerichtetes

Temperaturmanagement (TTM) sowie eine adäquate Prozessqualität (Nachweis von SOP) und eine Qualitätssicherung mit Nachweis einer standardisierten Erfassung des Behandlungsverlaufs und des Outcomes bis zur Entlassung gehören [125, 210]. In einem von der Association of Acute Cardiovascular Care (ACVA) und vielen anderen europäischen Organisationen, einschließlich ERC und ESICM, veröffentlichten Expertenkonsenspapier werden die Mindestanforderungen für ein Cardiac Arrest Center festgelegt. Dazu gehören ein rund um die Uhr verfügbares Herzkatheterlabor mit der Möglichkeit der unmittelbaren Primär-PCI, eine Notaufnahme, eine Intensivstation (ICU) und bildgebende Verfahren wie Echokardiographie, Computertomographie und Magnetresonanztomographie [17].

ILCOR empfiehlt, erwachsene Patienten mit nichttraumatischem prähospitalen Kreislaufstillstand nach Möglichkeit in einem Cardiac-Arrest-Center zu behandeln [18]. Diese schwache Empfehlung basiert auf einem systematischen Review mit sehr geringer Evidenz, welches 21 Beobachtungsstudien [537–557] und eine randomisierte Pilotstudie umfasste [558]. Siebzehn dieser Studien wurden in eine Metaanalyse eingeschlossen. Sie ergab, dass im Cardiac-Arrest-Center behandelte Patienten ein verbessertes Überleben bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus mit einem guten neurologischen Ergebnis hatten. Allerdings war das Ergebnis am Tag 30 nicht signifikant [537–543, 547–554, 556, 557].

Eine Beobachtungsstudie zeigte eine höhere (statistisch adjustierte) Überlebensrate bei Patienten, die primär in ein Cardiac-Arrest-Center transportiert wurden, verglichen mit Patienten, die erst sekundär dorthin verlegt wurden [554]. Zwei andere Studien, welche die selbe Fragestellung untersuchten, berichteten hingegen über keinen Unterschied im Überleben [538, 543]. Eine Beobachtungsstudie verglich Patienten, die per Sekundärtransport in ein Cardiac-Arrest-Center transportiert wurden mit denen, die in einem nichtspezialisierten Krankenhaus verblieben. Die Studie berichtete über mehr Überlebende in der

im Cardiac-Arrest-Center behandelten Gruppe [552].

Korrespondenzadresse

Jerry P. Nolan, ERC

Consultant in Anaesthesia and Intensive Care Medicine, Royal United Hospital
BA1 3NG Bath, Großbritannien
jan.breckwoldt@usz.ch

Korrespondierender Übersetzer

PD Dr. med Jan Breckwoldt, MME
Universitätsspital Zürich
Institut für Anästhesiologie
Raemistrasse 100
CH-8091 Zürich
Schweiz
jan.breckwoldt@usz.ch

Danksagung. Die Übersetzung dieses Kapitels wurde von PD Dr. med Jan Breckwoldt, PD Dr. med. Jörg Christian Brokmann und PD Dr. med. Stefan Beckers geleistet.

Zusatzmaterial online. Die Online-Version dieses Beitrags (<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00892-y>) enthält die tabellarische Aufführung der Änderungen ERC-Leitlinien 2021 zu den Leitlinien von 2015 in englischer Sprache. Beitrag und Zusatzmaterial stehen Ihnen auf www.springermedizin.de zur Verfügung. Bitte geben Sie dort den Beitragstitel in die Suche ein, das Zusatzmaterial finden Sie beim Beitrag unter „Ergänzende Inhalte“.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. J.P. Nolan: Editor in Chief Resuscitation. C. Sandroni: Associate Editor, Intensive Care Medicine. B.W. Böttiger: Treasurer of the European Resuscitation Council (ERC); Chairman of the German Resuscitation Council (GRC); Member of the Advanced Life Support (ALS) Task Force of the International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR); Member of the Executive Committee of the German Interdisciplinary Association for Intensive Care and Emergency Medicine (DIVI), Founder of the Deutsche Stiftung Wiederbelebung; Associate Editor of the European Journal of Anaesthesiology (EJA), Co-Editor of Resuscitation; Editor of Notfall + Rettungsmedizin, Co-Editor of the Brazilian Journal of Anesthesiology. Received fees for lectures from the following companies: Forum für medizinische Fortbildung (FomF), Baxalta Deutschland GmbH, ZOLL Medical Deutschland GmbH, C.R. Bard GmbH, GS Elektromedizinische Geräte G. Stemple GmbH, Novartis Pharma GmbH, Philips GmbH Market DACH, Bioscience Valuation BSV GmbH. A. Cariou: Speaker's Fee from Bard Medical. T. Cronberg, H. Friberg, C. Genbrugge, K. Haywood, G. Lilja, V. RM Moolaert, N. Nikolaou, and T.M. Olasveengen: no conflicts of interest. M.B. Skrifvars: Speaker's Fee from Bard Medical (Ireland). F.S. Taccone: Speaker's Fees from BD and Zoll. J. Soar: Editor, Resuscitation.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

- Nolan JP, Soar J, Cariou A et al (2015) European resuscitation council and European Society of Intensive care medicine guidelines for post-resuscitation care 2015: section 5 of the European resuscitation council guidelines for resuscitation 2015. Resuscitation 95:202–222. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.07.018>
- Nolan JP, Soar J, Cariou A et al (2015) European resuscitation council and European Society of Intensive care medicine 2015 guidelines for post-resuscitation care. Intensive Care Med 41:2039–2056
- Perkins GD, Gräsner J-T, Semeraro F et al (2021) Kurzfassung. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00883-z>
- Nolan JP, Hazinski MF, Aickin R et al (2015) Part 1: executive summary: 2015 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. Resuscitation 95:e1–e31. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.07.039>
- Olasveengen TM, de Caen AR, Mancini ME et al (2017) 2017 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations summary. Resuscitation 121:201–214. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.10.021>
- Soar J, Donnino MW, Maconochie I et al (2018) 2018 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations summary. Resuscitation 133:194–206. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.10.017>
- Soar J, Maconochie I, Wyckoff MH et al (2019) 2019 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. Resuscitation 145:95–150. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.10.016>
- Nolan JP, Maconochie I, Soar J et al (2020) Executive summary 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. Resuscitation 156:A1–A22. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.09.009>
- Morley PT, Atkins DL, Finn JC et al (2020) Evidence evaluation process and management of potential conflicts of interest. Resuscitation 156:A23–A34. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.09.011>
- Soar J, Berg KM, Andersen LW et al (2020) Adult advanced life support: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. Resuscitation 156:A80–A119. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.09.012>
- Lemkes JS, Janssens GN, van der Hoeven NW et al (2019) Coronary angiography after cardiac arrest without ST-segment elevation. N Engl J Med 380(15):1397–1407. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1816897>
- Collet JP, Thiele H, Barbato E et al (2020) 2020 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation. Eur Heart J. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa575>
- Kapur J, Elm J, Chamberlain JM et al (2019) Randomized trial of three anticonvulsant medications for status epilepticus. N Engl J Med

- 381(22):2103–2113. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1905795>
14. Lascarrou JB, Merdji H, Le Gouge A et al (2019) Targeted temperature management for cardiac arrest with nonshockable rhythm. *N Engl J Med* 381(24):2327–2337. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1906661>
 15. Dankiewicz J, Cronberg T, Lilja G et al (2019) Targeted hypothermia versus targeted normothermia after out-of-hospital cardiac arrest (TTM2): a randomized clinical trial—rationale and design. *Am Heart J* 217:23–31. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2019.06.012>
 16. Sandroni C, D'Arrigo S, Cacciola S et al (2020) Prediction of poor neurological outcome in comatose survivors of cardiac arrest: a systematic review. *Intensive Care Med* 46(10):1803–1851. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-06198-w>
 17. Sinning C, Ahrens I, Cariou A et al (2020) The cardiac arrest centre for the treatment of sudden cardiac arrest due to presumed cardiac cause—aims, function and structure: Position paper of the Association for Acute CardioVascular Care of the European Society of Cardiology (AVCV), European Association of Percutaneous Coronary Interventions (EAPCI), European Heart Rhythm Association (EHRA), European Resuscitation Council (ERC), European Society for Emergency Medicine (EUSEM) and European Society of Intensive Care Medicine (ESICM). *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care* 9(4_suppl):S193–S202. <https://doi.org/10.1177/2048872620963492>
 18. Yeung J, Matsuyama T, Bray J, Reynolds J, Skrifvars MB (2019) Does care at a cardiac arrest centre improve outcome after out-of-hospital cardiac arrest?—A systematic review. *Resuscitation* 137:102–115. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.02.006>
 19. Greer DM, Shemie SD, Lewis A et al (2020) Determination of brain death/death by neurologic criteria: the world brain death project. *JAMA* 324(11):1078–1097. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.11586>
 20. Sandroni C, D'Arrigo S, Callaway CW, Cariou A, Dragancea I, Taccone FS, Antonelli M (2016) The rate of brain death and organ donation in patients resuscitated from cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med* 42:1661–1671
 21. Nolan JP, Neumar RW, Adrie C et al (2008) Post-cardiac arrest syndrome: epidemiology, pathophysiology, treatment, and prognostication. A Scientific Statement from the International Liaison Committee on Resuscitation; the American Heart Association Emergency Cardiovascular Care Committee; the Council on Cardiovascular Surgery and Anesthesia; the Council on Cardiopulmonary, Perioperative, and Critical Care; the Council on Clinical Cardiology; the Council on Stroke. *Resuscitation* 79(3):350–379. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2008.09.017> (In eng)
 22. Mongardon N, Dumas F, Ricome S et al (2011) Postcardiac arrest syndrome: from immediate resuscitation to long-term outcome. *Ann Intensive Care* 1(1):45. <https://doi.org/10.1186/2110-5820-1-45> (In eng)
 23. Stub D, Bernard S, Duffy SJ, Kaye DM (2011) Post cardiac arrest syndrome: a review of therapeutic strategies. *Circulation* 123(13):1428–1435. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.110.988725> ((Research Support, Non-U.S. Gov't Review) (In eng))
 24. Sekhon MS, Ainslie PN, Griesdale DE (2017) Clinical pathophysiology of hypoxic ischemic brain injury after cardiac arrest: a “two-hit” model. *Crit Care* 21(1):90. <https://doi.org/10.1186/s13054-017-1670-9>
 25. Witten L, Gardner R, Holmberg MJ et al (2019) Reasons for death in patients successfully resuscitated from out-of-hospital and in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 136:93–99. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.01.031>
 26. Lemiale V, Dumas F, Mongardon N et al (2013) Intensive care unit mortality after cardiac arrest: the relative contribution of shock and brain injury in a large cohort. *Intensive Care Med* 39(11):1972–1980. <https://doi.org/10.1007/s00134-013-3043-4> (In Eng)
 27. Laver S, Farrow C, Turner D, Nolan J (2004) Mode of death after admission to an intensive care unit following cardiac arrest. *Intensive Care Med* 30(11):2126–2128
 28. Olasveengen TM, Sunde K, Brunborg C, Thowsen J, Steen PA, Wik L (2009) Intravenous drug administration during out-of-hospital cardiac arrest: a randomized trial. *JAMA* 302(20):2222–2229. <https://doi.org/10.1001/jama.2009.1729> (In eng)
 29. Dragancea I, Rundgren M, Englund E, Friberg H, Cronberg T (2013) The influence of induced hypothermia and delayed prognostication on the mode of death after cardiac arrest. *Resuscitation* 84(3):337–342. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.09.015> (Mode of death)
 30. Nielsen N, Wetterslev J, Cronberg T et al (2013) Targeted temperature management at 33 degrees C versus 36 degrees C after cardiac arrest. *N Engl J Med* 369(23):2197–2206. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1310519>
 31. Cha KC, Kim HI, Kim OH et al (2018) Echocardiographic patterns of postresuscitation myocardial dysfunction. *Resuscitation* 124:90–95. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.01.019>
 32. Jentzer JC, Anavekar NS, Mankad SV et al (2018) Changes in left ventricular systolic and diastolic function on serial echocardiography after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 126:1–6. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.01.050>
 33. Laurent I, Monchi M, Chiche JD et al (2002) Reversible myocardial dysfunction in survivors of out-of-hospital cardiac arrest. *J Am Coll Cardiol* 40(12):2110–2116
 34. Ruiz-Bailen M, Aguayo de Hoyos E, Ruiz-Navarro S et al (2005) Reversible myocardial dysfunction after cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 66(2):175–181. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2005.01.012> (In eng)
 35. Chalkias A, Xanthos T (2012) Pathophysiology and pathogenesis of post-resuscitation myocardial stunning. *Heart Fail Rev* 17(1):117–128. <https://doi.org/10.1007/s10741-011-9255-1>
 36. Wardi G, Blanchard D, Dittrich T, Kaushal K, Sell R (2016) Right ventricle dysfunction and echocardiographic parameters in the first 24h following resuscitation in the post-cardiac arrest patient: A retrospective cohort study. *Resuscitation* 103:71–74. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.03.009>
 37. Cerchiarri EL, Safar P, Klein E, Diven W (1993) Visceral, hematologic and bacteriologic changes and neurologic outcome after cardiac arrest in dogs. The visceral post-resuscitation syndrome. *Resuscitation* 25(2):119–136
 38. Adrie C, Monchi M, Laurent I et al (2005) Coagulopathy after successful cardiopulmonary resuscitation following cardiac arrest: implication of the protein C anticoagulant pathway. *J Am Coll Cardiol* 46(1):21–28
 39. Grimaldi D, Guivarch E, Neveux N et al (2013) Markers of intestinal injury are associated with endotoxemia in successfully resuscitated patients. *Resuscitation* 84(1):60–65. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.06.010> (Research Support, Non-U.S. Gov't)
 40. Roberts BW, Kilgannon JH, Chansky ME et al (2013) Multiple organ dysfunction after return of spontaneous circulation in postcardiac arrest syndrome. *Crit Care Med* 41(6):1492–1501. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31828a39e9>
 41. Bottiger BW, Bohrer H, Boker T, Motsch J, Aulmann M, Martin E (1996) Platelet factor 4 release in patients undergoing cardiopulmonary resuscitation—can reperfusion be impaired by platelet activation? *Acta Anaesthesiol Scand* 40(5):631–635 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8792896>)
 42. Bottiger BW, Motsch J, Braun V, Martin E, Kirschfink M (2002) Marked activation of complement and leukocytes and an increase in the concentrations of soluble endothelial adhesion molecules during cardiopulmonary resuscitation and early reperfusion after cardiac arrest in humans. *Crit Care Med* 30(11):2473–2480. <https://doi.org/10.1097/01.CCM.0000034689.78033.E2>
 43. Bottiger BW, Motsch J, Bohrer H et al (1995) Activation of blood coagulation after cardiac arrest is not balanced adequately by activation of endogenous fibrinolysis. *Circulation* 92(9):2572–2578
 44. Viersen VA, Greuters S, Korfage AR et al (2012) Hyperfibrinolysis in out of hospital cardiac arrest is associated with markers of hypoperfusion. *Resuscitation* 83(12):1451–1455. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.05.008>
 45. Duvekot A, Viersen VA, Dekker SE et al (2015) Low cerebral oxygenation levels during resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest are associated with hyperfibrinolysis. *Anesthesiology* 123(4):820–829. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000000806>
 46. Buchtele N, Schorgenhofer C, Spiell AO, Jilma B, Schwameis M (2018) Increased fibrinolysis as a specific marker of poor outcome after cardiac arrest. *Crit Care Med* 46(10):e995–e1001. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000352>
 47. Adrie C, Adib-Conquy M, Laurent I et al (2002) Successful cardiopulmonary resuscitation after cardiac arrest as a “sepsis-like” syndrome. *Circulation* 106(5):562–568 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=12147537)
 48. Adrie C, Laurent I, Monchi M, Cariou A, Dhainaut JF, Spaulding C (2004) Postresuscitation disease after cardiac arrest: a sepsis-like syndrome? *Curr Opin Crit Care* 10(3):208–212
 49. Huet O, Dupic L, Batteux F et al (2011) Postresuscitation syndrome: the potential role of hydroxyl radical-induced endothelial cell damage. *Crit Care Med* 39(7):1712–1720. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3182186d42> ((Research Support, Non-U.S. Gov't) (In eng))
 50. Fink K, Schwarz M, Feldbrugge L et al (2010) Severe endothelial injury and subsequent repair in patients after successful cardiopulmonary resuscitation. *Crit Care* 14(3):R104. <https://doi.org/10.1186/cc9050>
 51. van Genderen ME, Lima A, Akkerhuis M, Bakker J, van Bommel J (2012) Persistent peripheral and microcirculatory perfusion alterations after out-of-hospital cardiac arrest are associated with poor survival. *Crit Care Med* 40(8):2287–2294. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31825333b2>
 52. Bro-Jeppesen J, Kjaergaard J, Wanscher M et al (2015) Systemic inflammatory response and

- potential prognostic implications after out-of-hospital cardiac arrest: a substudy of the target temperature management trial. *Crit Care Med* 43(6):1223–1232. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000937>
53. Sutherasan Y, Penuelas O, Muriel A et al (2015) Management and outcome of mechanically ventilated patients after cardiac arrest. *Crit Care* 19(1):215. <https://doi.org/10.1186/s13054-015-0922-9>
 54. Peberdy MA, Andersen LW, Abbate A et al (2016) Inflammatory markers following resuscitation from out-of-hospital cardiac arrest—A prospective multicenter observational study. *Resuscitation* 103:117–124. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.01.006>
 55. Bro-Jeppesen J, Johansson PI, Hassager C et al (2016) Endothelial activation/injury and associations with severity of post-cardiac arrest syndrome and mortality after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 107:71–79. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.08.006>
 56. Bro-Jeppesen J, Johansson PI, Kjaergaard J et al (2017) Level of systemic inflammation and endothelial injury is associated with cardiovascular dysfunction and vasopressor support in post-cardiac arrest patients. *Resuscitation* 121:179–186. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.09.019>
 57. Chelly J, Mongardon N, Dumas F et al (2012) Benefit of an early and systematic imaging procedure after cardiac arrest: insights from the PROCAT (Parisian Region Out of Hospital Cardiac Arrest) registry. *Resuscitation* 83(12):1444–1450. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.08.321> (In eng)
 58. Arnaout M, Mongardon N, Deye N et al (2015) Out-of-hospital cardiac arrest from brain cause: epidemiology, clinical features, and outcome in a multicenter cohort. *Crit Care Med* 43(2):453–460. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000722>
 59. Inamasu J, Miyatake S, Tomioka H et al (2009) Subarachnoid haemorrhage as a cause of out-of-hospital cardiac arrest: a prospective computed tomography study. *Resuscitation* 80(9):977–980. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2009.05.010> (In eng)
 60. Shin J, Kim K, Lim YS et al (2016) Incidence and clinical features of intracranial hemorrhage causing out-of-hospital cardiac arrest: a multicenter retrospective study. *Am J Emerg Med* 34(12):2326–2330. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2016.08.043>
 61. Legriel S, Bougouin W, Chocron R et al (2018) Early in-hospital management of cardiac arrest from neurological cause: diagnostic pitfalls and treatment issues. *Resuscitation* 132:147–155. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.08.004>
 62. Caputo ND, Stahmer C, Lim G, Shah K (2014) Whole-body computed tomographic scanning leads to better survival as opposed to selective scanning in trauma patients: a systematic review and meta-analysis. *J Trauma Acute Care Surg* 77(4):534–539. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000414>
 63. Lott CT, Alfonso A, Barelli A, González-Salvado V, Hinkelbein J, Nolan JP, Paal P, Perkins GD, Thies K-C, Yeung J, Zideman DA, Soar J (2021) European Resuscitation Council Guidelines 2021: cardiac arrest in special circumstances. *Resuscitation*. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.011>
 64. Berg KM, Grossestreuer AV, Uber A, Patel PV, Donnino MW (2017) Intubation is not a marker for coma after in-hospital cardiac arrest: a retrospective study. *Resuscitation* 119:18–20. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.07.024>
 65. Bengner JR, Kirby K, Black S et al (2018) Effect of a strategy of a supraglottic airway device vs tracheal intubation during out-of-hospital cardiac arrest on functional outcome: the AIRWAYS-2 randomized clinical trial. *JAMA* 320(8):779–791. <https://doi.org/10.1001/jama.2018.11597>
 66. Higgs A, McGrath BA, Goddard C et al (2018) Guidelines for the management of tracheal intubation in critically ill adults. *Br J Anaesth* 120(2):323–352. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2017.10.021>
 67. Nolan JP, Kelly FE (2011) Airway challenges in critical care. *Anaesthesia* 66(Suppl 2):81–92. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.2011.06937.x> ((Review) (In eng))
 68. Miller M, Groombridge CJ, Lyon R (2017) Haemodynamic changes to a midazolam-fentanyl-rocuronium protocol for pre-hospital anaesthesia following return of spontaneous circulation after cardiac arrest. *Anaesthesia* 72(5):585–591. <https://doi.org/10.1111/anae.13809>
 69. Holmberg MJ, Nicholson T, Nolan JP et al (2020) Oxygenation and ventilation targets after cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 152:107–115. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.04.031>
 70. Fugate JE (2017) Anoxic-ischemic brain injury. *Neurol Clin* 35(4):601–611. <https://doi.org/10.1016/j.ncl.2017.06.001>
 71. Endisch C, Westhall E, Kenda M et al (2020) Hypoxic-ischemic encephalopathy evaluated by brain autopsy and neuroprognostication after cardiac arrest. *JAMA Neurol*. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2020.2340>
 72. Llitjos JF, Mira JP, Duranteau J, Cariou A (2016) Hyperoxia toxicity after cardiac arrest: what is the evidence? *Ann Intensive Care* 6(1):23. <https://doi.org/10.1186/s13613-016-0126-8>
 73. Bougle A, Daviaud F, Bougouin W et al (2016) Determinants and significance of cerebral oximetry after cardiac arrest: a prospective cohort study. *Resuscitation* 99:1–6. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.11.011>
 74. Rosenthal G, Hemphill JC 3rd, Sorani M et al (2008) Brain tissue oxygen tension is more indicative of oxygen diffusion than oxygen delivery and metabolism in patients with traumatic brain injury. *Crit Care Med* 36(6):1917–1924. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3181743d77>
 75. Liu Y, Rosenthal RE, Haywood Y, Miljkovic-Lolic M, Vanderhoeck JY, Fiskum G (1998) Normoxic ventilation after cardiac arrest reduces oxidation of brain lipids and improves neurological outcome. *Stroke* 29(8):1679–1686 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=9707212)
 76. Pilcher J, Weatherall M, Shirtcliffe P, Bellomo R, Young P, Beasley R (2012) The effect of hyperoxia following cardiac arrest—a systematic review and meta-analysis of animal trials. *Resuscitation* 83(4):417–422. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2011.12.021> (In eng)
 77. Investigators I-R, the A, New Zealand Intensive Care Society Clinical Trials G et al (2020) Conservative oxygen therapy during mechanical ventilation in the ICU. *N Engl J Med* 382(11):989–998. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1903297>
 78. Jakkula P, Reinikainen M, Hastbacka J et al (2018) Targeting two different levels of both arterial carbon dioxide and arterial oxygen after cardiac arrest and resuscitation: a randomised pilot trial. *Intensive Care Med* 44(12):2112–2121. <https://doi.org/10.1007/s00134-018-5453-9>
 79. Bray JE, Hein C, Smith K et al (2018) Oxygen titration after resuscitation from out-of-hospital cardiac arrest: a multi-centre, randomised controlled pilot study (the EXACT pilot trial). *Resuscitation* 128:211–215. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.04.019>
 80. Thomas M, Voss S, Bengner J, Kirby K, Nolan JP (2019) Cluster randomised comparison of the effectiveness of 100% oxygen versus titrated oxygen in patients with a sustained return of spontaneous circulation following out of hospital cardiac arrest: a feasibility study. PROXY: post ROSC OXYgenation study. *BMC Emerg Med* 19(1):16. <https://doi.org/10.1186/s12873-018-0214-1>
 81. Young P, Bailey M, Bellomo R et al (2014) HyperOxic Therapy OR NormOxic Therapy after out-of-hospital cardiac arrest (HOT OR NOT): a randomised controlled feasibility trial. *Resuscitation* 85(12):1686–1691. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.09.011>
 82. Kuisma M, Boyd J, Voipio V, Alaspaa A, Roine RO, Rosenberg P (2006) Comparison of 30 and the 100% inspired oxygen concentrations during early post-resuscitation period: a randomised controlled pilot study. *Resuscitation* 69(2):199–206. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2005.08.010> (In eng)
 83. Young P, Mackle D, Bellomo R et al (2020) Conservative oxygen therapy for mechanically ventilated adults with suspected hypoxic ischaemic encephalopathy. *Intensive Care Med* 46(12):2411–2422. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-06196-y>
 84. Humaloja J, Litonius E, Efendijev I et al (2019) Early hyperoxemia is not associated with cardiac arrest outcome. *Resuscitation* 140:185–193. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.04.035>
 85. Young P, Pilcher J, Patel M et al (2013) Delivery of titrated oxygen via a self-inflating resuscitation bag. *Resuscitation* 84(3):391–394. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.08.330> (Comparative Study)
 86. Nelskyla A, Parr MJ, Skrifvars MB (2013) Prevalence and factors correlating with hyperoxia exposure following cardiac arrest—an observational single centre study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 21:35. <https://doi.org/10.1186/1757-7241-21-35>
 87. Storm C, Leithner C, Krannich A et al (2014) Regional cerebral oxygen saturation after cardiac arrest in 60 patients—a prospective outcome study. *Resuscitation* 85(8):1037–1041. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.04.021>
 88. Jakkula P, Hastbacka J, Reinikainen M et al (2019) Near-infrared spectroscopy after out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care* 23(1):171. <https://doi.org/10.1186/s13054-019-2428-3>
 89. Spindelboeck W, Gemes G, Strasser C et al (2016) Arterial blood gases during and their dynamic changes after cardiopulmonary resuscitation: a prospective clinical study. *Resuscitation* 106:24–29. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.06.013>
 90. Mekontso Dessap A, Charron C, Devaquet J et al (2009) Impact of acute hypercapnia and augmented positive end-expiratory pressure on right ventricle function in severe acute respiratory distress syndrome. *Intensive Care Med* 35(11):1850–1858. <https://doi.org/10.1007/s00134-009-1569-2>
 91. Curley G, Kavanagh BP, Laffey JG (2010) Hypocapnia and the injured brain: more harm than benefit. *Crit Care Med* 38(5):1348–1359. <https://doi.org/10.1007/s00134-009-1569-2>

- [org/10.1097/CCM.0b013e3181d8cf2b](https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3181d8cf2b) (Research Support, Non-U.S. Gov't Review) (In eng))
92. Pynnonen L, Falkenbach P, Kamarainen A, Lonnrot K, Yli-Hankala A, Tenhunen J (2011) Therapeutic hypothermia after cardiac arrest—cerebral perfusion and metabolism during upper and lower threshold normocapnia. *Resuscitation* 82(9):1174–1179. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2011.04.022>
 93. Thompson BT, Chambers RC, Liu KD (2017) Acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 377(6):562–572. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1608077>
 94. Serpa Neto A, Cardoso SO, Manetta JA et al (2012) Association between use of lung-protective ventilation with lower tidal volumes and clinical outcomes among patients without acute respiratory distress syndrome: a meta-analysis. *JAMA* 308(16):1651–1659. <https://doi.org/10.1001/jama.2012.13730>
 95. Johnson NJ, Caldwell E, Carlbom DJ et al (2019) The acute respiratory distress syndrome after out-of-hospital cardiac arrest: incidence, risk factors, and outcomes. *Resuscitation* 135:37–44. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.01.009>
 96. Czerwinska-Jelonkiewicz K, Grand J, Tavazzi G et al (2020) Acute respiratory failure and inflammatory response after out-of-hospital cardiac arrest: results of the Post-Cardiac Arrest Syndrome (PCAS) pilot study. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care*. <https://doi.org/10.1177/2048872619895126>
 97. Kim JS, Kim YJ, Kim M et al (2020) Impact of lung compliance on neurological outcome in patients with acute respiratory distress syndrome following out-of-hospital cardiac arrest. *J Clin Med*. <https://doi.org/10.3390/jcm9020527>
 98. Gonzalvo R, Marti-Sistac O, Blanch L, Lopez-Aguilar J (2007) Bench-to-bedside review: brain-lung interaction in the critically ill—a pending issue revisited. *Crit Care* 11(3):216. <https://doi.org/10.1186/cc5930>
 99. Eastwood GM, Schneider AG, Suzuki S et al (2016) Targeted therapeutic mild hypercapnia after cardiac arrest: a phase II multi-centre randomised controlled trial (the CCC trial). *Resuscitation* 104:83–90. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.03.023>
 100. Vaahersalo J, Bendel S, Reinikainen M et al (2014) Arterial blood gas tensions after resuscitation from out-of-hospital cardiac arrest: associations with long-term neurologic outcome. *Crit Care Med* 42(6):1463–1470. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000228>
 101. Kilgannon HJ, Hunter BR, Puskarich MA et al (2019) Partial pressure of arterial carbon dioxide after resuscitation from cardiac arrest and neurological outcome: A prospective multi-center protocol-directed cohort study. *Resuscitation* 135:212–220. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.11.015>
 102. Roberts BW, Kilgannon JH, Chansky ME, Mittal N, Wooden J, Trzeciak S (2013) Association between postresuscitation partial pressure of arterial carbon dioxide and neurological outcome in patients with post-cardiac arrest syndrome. *Circulation* 127(21):2107–2113. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.112.000168>
 103. Wang HE, Prince DK, Drennan IR et al (2017) Post-resuscitation arterial oxygen and carbon dioxide and outcomes after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 120:113–118. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.08.244>
 104. von Auenmueller KI, Christ M, Sasko BM, Trappe HJ (2017) The value of arterial blood gas parameters for prediction of mortality in survivors of out-of-hospital cardiac arrest. *J Emerg Trauma Shock* 10(3):134–139. https://doi.org/10.4103/JETS.JETS_146_16
 105. Ebner F, Harmon MBA, Aneman A et al (2018) Carbon dioxide dynamics in relation to neurological outcome in resuscitated out-of-hospital cardiac arrest patients: an exploratory Target Temperature Management Trial substudy. *Crit Care* 22(1):196. <https://doi.org/10.1186/s13054-018-2119-5>
 106. McGuigan PJ, Shankar-Hari M, Harrison DA, Laffey JG, McAuley DF (2020) The interaction between arterial oxygenation and carbon dioxide and hospital mortality following out of hospital cardiac arrest: a cohort study. *Crit Care* 24(1):336. <https://doi.org/10.1186/s13054-020-03039-6>
 107. Falkenbach P, Kamarainen A, Makela A et al (2009) Incidence of iatrogenic dyscemia during mild therapeutic hypothermia after successful resuscitation from out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 80(9):990–993. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2009.04.044>
 108. Eastwood GM, Nielsen N, Nichol AD, Skrifvars MB, French C, Bellomo R (2019) Reported practice of temperature adjustment (alpha-stat v pH-stat) for arterial blood gases measurement among investigators from two major cardiac arrest trials. *Crit Care Resusc* 21(1):69–71 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30857515>)
 109. Hoedemaekers C, van der Hoeven JG (2014) Is alpha-stat or pH-stat the best strategy during hypothermia after cardiac arrest? *Crit Care Med* 42(8):1950–1951. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000377>
 110. Griffiths MJD, McAuley DF, Perkins GD et al (2019) Guidelines on the management of acute respiratory distress syndrome. *BMJ Open Respir Res* 6(1):e420. <https://doi.org/10.1136/bmjresp-2019-000420>
 111. Beitler JR, Ghafouri TB, Jinadasa SP et al (2017) Favorable neurocognitive outcome with low tidal volume ventilation after cardiac arrest. *Am J Respir Crit Care Med* 195(9):1198–1206. <https://doi.org/10.1164/rccm.201609-1771OC>
 112. Geri G, Passouant O, Dumas F et al (2017) Etiological diagnoses of out-of-hospital cardiac arrest survivors admitted to the intensive care unit: Insights from a French registry. *Resuscitation* 117:66–72. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.06.006>
 113. Vahatalo JH, Huikuri HV, Holmstrom LTA et al (2019) Association of silent myocardial infarction and sudden cardiac death. *JAMA Cardiol* 4(8):796–802. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2019.2210>
 114. Patterson T, Perkins GD, Hassan Y et al (2018) Temporal trends in identification, management, and clinical outcomes after out-of-hospital cardiac arrest: insights from the myocardial ischaemia national audit project database. *Circ Cardiovasc Interv* 11(6):e5346. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.117.005346>
 115. Nikolaou NI, Welsford M, Beygui F et al (2015) Part 5: Acute coronary syndromes: 2015 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science with Treatment Recommendations. *Resuscitation* 95:e121–e146. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.07.043>
 116. Ibanez B, James S, Agewall S et al (2018) 2017 ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation: The Task Force for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 39(2):119–177. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx393>
 117. Elfwen L, Lagedal R, James S et al (2018) Coronary angiography in out-of-hospital cardiac arrest without ST elevation on ECG-Short- and long-term survival. *Am Heart J* 200:90–95. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2018.03.009>
 118. Dumas F, Bougouin W, Geri G et al (2016) Emergency percutaneous coronary intervention in post-cardiac arrest patients without ST-segment elevation pattern: insights from the PROCAT II registry. *JACC Cardiovasc Interv* 9(10):1011–1018. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2016.02.001>
 119. Kern KB, Radsel P, Jentzer JC et al (2020) Randomized pilot clinical trial of early coronary angiography versus no early coronary angiography after cardiac arrest without ST-segment elevation: the PEARL study. *Circulation* 142(21):2002–2012. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.120.049569>
 120. Bougouin W, Dumas F, Karam N et al (2018) Should we perform an immediate coronary angiogram in all patients after cardiac arrest?: insights from a large French registry. *JACC Cardiovasc Interv* 11(3):249–256. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2017.09.011>
 121. Oksanen T, Skrifvars M, Wilkman E, Tierala I, Pettila V, Varpula T (2014) Postresuscitation hemodynamics during therapeutic hypothermia after out-of-hospital cardiac arrest with ventricular fibrillation: a retrospective study. *Resuscitation* 85(8):1018–1024. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.04.026>
 122. Uray T, Lamade A, Elmer J et al (2018) Phenotyping cardiac arrest: bench and bedside characterization of brain and heart injury based on etiology. *Crit Care Med* 46(6):e508–e515. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003070>
 123. Anderson RJ, Jinadasa SP, Hsu L et al (2018) Shock subtypes by left ventricular ejection fraction following out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care* 22(1):162. <https://doi.org/10.1186/s13054-018-2078-x>
 124. Grand J, Kjaergaard J, Bro-Jeppesen J et al (2019) Cardiac output, heart rate and stroke volume during targeted temperature management after out-of-hospital cardiac arrest: Association with mortality and cause of death. *Resuscitation* 142:136–143. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.07.024>
 125. Soar J, Callaway CW, Aibiki M et al (2015) Part 4: advanced life support: 2015 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 95:e71–120. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.07.042>
 126. Trzeciak S, Jones AE, Kilgannon JH et al (2009) Significance of arterial hypotension after resuscitation from cardiac arrest. *Crit Care Med* 37(11):2895–2903 (quiz 2904). (In eng) (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=19866506)
 127. Kilgannon JH, Roberts BW, Stauss M et al (2008) Use of a standardized order set for achieving target temperature in the implementation of therapeutic hypothermia after cardiac arrest: a feasibility study. *Acad Emerg Med* 15(6):499–505. <https://doi.org/10.1111/j.1553-2712.2008.00102.x> (In eng). DOI: ACEM102)
 128. Gaijeski DF, Band RA, Abella BS et al (2009) Early goal-directed hemodynamic optimization combined with therapeutic hypothermia in

- comatose survivors of out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 80(4):418–424. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2008.12.015>
129. Sunde K, Pytte M, Jacobsen D et al (2007) Implementation of a standardised treatment protocol for post resuscitation care after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 73(1):29–39. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2006.08.016> (In eng)
 130. Mullner M, Sterz F, Binder M et al (1996) Arterial blood pressure after human cardiac arrest and neurological recovery. *Stroke* 27(1):59–62
 131. Walters EL, Morawski K, Dorotta I et al (2011) Implementation of a post-cardiac arrest care bundle including therapeutic hypothermia and hemodynamic optimization in comatose patients with return of spontaneous circulation after out-of-hospital cardiac arrest: a feasibility study. *Shock* 35(4):360–366. <https://doi.org/10.1097/SHK.0b013e318204c106>
 132. Kilgannon JH, Roberts BW, Jones AE et al (2014) Arterial blood pressure and neurologic outcome after resuscitation from cardiac arrest. *Crit Care Med* 42(9):2083–2091. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000406>
 133. Beylin ME, Perman SM, Abella BS et al (2013) Higher mean arterial pressure with or without vasoactive agents is associated with increased survival and better neurological outcomes in comatose survivors of cardiac arrest. *Intensive Care Med* 39(11):1981–1988. <https://doi.org/10.1007/s00134-013-3075-9>
 134. Ameloot K, De Deyne C, Eertmans W et al (2019) Early goal-directed haemodynamic optimization of cerebral oxygenation in comatose survivors after cardiac arrest: the Neuroprotect post-cardiac arrest trial. *Eur Heart J* 40(22):1804–1814. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz120>
 135. Jakkula P, Pettila V, Skrifvars MB et al (2018) Targeting low-normal or high-normal mean arterial pressure after cardiac arrest and resuscitation: a randomised pilot trial. *Intensive Care Med* 44(12):2091–2101. <https://doi.org/10.1007/s00134-018-5446-8>
 136. Ameloot K, Genbrugge C, Meex I et al (2015) An observational near-infrared spectroscopy study on cerebral autoregulation in post-cardiac arrest patients: Time to drop 'one-size-fits-all' hemodynamic targets? *Resuscitation* 90:121–126. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.03.001>
 137. Ameloot K, Meex I, Genbrugge C et al (2015) Hemodynamic targets during therapeutic hypothermia after cardiac arrest: a prospective observational study. *Resuscitation* 91:56–62. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.03.016>
 138. Annoni F, Dell'Anna AM, Franchi F et al (2018) The impact of diastolic blood pressure values on the neurological outcome of cardiac arrest patients. *Resuscitation* 130:167–173. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.07.017>
 139. Bro-Jeppesen J, Annborn M, Hassager C et al (2015) Hemodynamics and vasopressor support during targeted temperature management at 33 degrees C versus 36 degrees C after out-of-hospital cardiac arrest: a post hoc study of the target temperature management trial. *Crit Care Med* 43(2):318–327. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000691>
 140. Chiu YK, Lui CT, Tsui KL (2018) Impact of hypotension after return of spontaneous circulation on survival in patients of out-of-hospital cardiac arrest. *Am J Emerg Med* 36(1):79–83. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2017.07.019>
 141. Huang CH, Tsai MS, Ong HN et al (2017) Association of hemodynamic variables with in-hospital mortality and favorable neurological outcomes in post-cardiac arrest care with targeted temperature management. *Resuscitation* 120:146–152. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.07.009>
 142. Laurikkala J, Wilkman E, Pettila V et al (2016) Mean arterial pressure and vasopressor load after out-of-hospital cardiac arrest: associations with one-year neurologic outcome. *Resuscitation* 105:116–122. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.05.026>
 143. Janiczek JA, Winger DG, Coppler P et al (2016) Hemodynamic resuscitation characteristics associated with improved survival and shock resolution after cardiac arrest. *Shock* 45(6):613–619. <https://doi.org/10.1097/SHK.0000000000000554>
 144. Russo JJ, Di Santo P, Simard T et al (2018) Optimal mean arterial pressure in comatose survivors of out-of-hospital cardiac arrest: an analysis of area below blood pressure thresholds. *Resuscitation* 128:175–180. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.04.028>
 145. Young MN, Hollenbeck RD, Pollock JS et al (2015) Higher achieved mean arterial pressure during therapeutic hypothermia is not associated with neurologically intact survival following cardiac arrest. *Resuscitation* 88:158–164. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.12.008>
 146. Scheinberg P, Jayne HW (1952) Factors influencing cerebral blood flow and metabolism: a review. *Circulation* 5(2):225–234. <https://doi.org/10.1161/01.cir.5.2.225>
 147. Haddad SH, Arabi YM (2012) Critical care management of severe traumatic brain injury in adults. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. <https://doi.org/10.1186/1757-7241-20-12>
 148. Sundgreen C, Larsen FS, Herzog TM, Knudsen GM, Boesgaard S, Aldershvile J (2001) Autoregulation of cerebral blood flow in patients resuscitated from cardiac arrest. *Stroke* 32(1):128–132 (<http://www.strokeaha.org/cgi/content/full/32/1/128>, <http://www.strokeaha.org/cgi/content/abstract/32/1/128>, http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=11136927)
 149. Sekhon MS, Griesdale DE (2017) Individualized perfusion targets in hypoxic ischemic brain injury after cardiac arrest. *Crit Care* 21(1):259. <https://doi.org/10.1186/s13054-017-1832-9>
 150. Sekhon MS, Gooderham P, Menon DK et al (2019) The burden of brain hypoxia and optimal mean arterial pressure in patients with hypoxic ischemic brain injury after cardiac arrest. *Crit Care Med* 47(7):960–969. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003745>
 151. Hoiland RL, Robba C, Menon DK, Sekhon MS (2020) Differential pathophysiologic phenotypes of hypoxic ischemic brain injury: considerations for post-cardiac arrest trials. *Intensive Care Med* 46(10):1969–1971. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-06200-5>
 152. van den Brule JM, Vinke E, van Loon LM, van der Hoeven JG, Hoedemaekers CW (2017) Middle cerebral artery flow, the critical closing pressure, and the optimal mean arterial pressure in comatose cardiac arrest survivors—An observational study. *Resuscitation* 110:85–89. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.10.022>
 153. Buunk G, van der Hoeven JG, Meinders AE (1997) Cerebrovascular reactivity in comatose patients resuscitated from a cardiac arrest. *Stroke* 28(8):1569–1573
 154. Lemiale V, Huet O, Vigue B et al (2008) Changes in cerebral blood flow and oxygen extraction during post-resuscitation syndrome. *Resuscitation* 76(1):17–24. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2007.06.028> ((Research Support, Non-U.S. Gov't) (In eng))
 155. Rafi S, Tadie JM, Gacouin A et al (2019) Doppler sonography of cerebral blood flow for early prognostication after out-of-hospital cardiac arrest: DOTAC study. *Resuscitation* 141:188–194. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.05.024>
 156. Torgersen C, Meichtry J, Schmittinger CA et al (2013) Haemodynamic variables and functional outcome in hypothermic patients following out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 84(6):798–804. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.10.012>
 157. Post H, Schmitto JD, Steendijk P et al (2010) Cardiac function during mild hypothermia in pigs: increased inotropy at the expense of diastolic dysfunction. *Acta Physiol* 199(1):43–52. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2010.02083.x>
 158. Staer-Jensen H, Sunde K, Olasveengen TM et al (2014) Bradycardia during therapeutic hypothermia is associated with good neurologic outcome in comatose survivors of out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care Med* 42(11):2401–2408. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000515>
 159. Thomsen JH, Hassager C, Bro-Jeppesen J et al (2015) Sinus bradycardia during hypothermia in comatose survivors of out-of-hospital cardiac arrest—a new early marker of favorable outcome? *Resuscitation* 89:36–42. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.12.031>
 160. Oksanen T, Tiainen M, Vaahersalo J et al (2018) Lower heart rate is associated with good one-year outcome in post-resuscitation patients. *Resuscitation* 128:112–118. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.05.001>
 161. Adler C, Reuter H, Seck C, Hellmich M, Zobel C (2013) Fluid therapy and acute kidney injury in cardiogenic shock after cardiac arrest. *Resuscitation* 84(2):194–199. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.06.013>
 162. Gamper G, Havel C, Arrich J et al (2016) Vasopressors for hypotensive shock. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003709.pub4>
 163. Levy B, Clere-Jehl R, Legras A et al (2018) Epinephrine versus norepinephrine for cardiogenic shock after acute myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 72(2):173–182. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.04.051>
 164. Kern KB, Hilwig RW, Berg RA et al (1997) Postresuscitation left ventricular systolic and diastolic dysfunction: treatment with dobutamine. *Circulation* 95(12):2610–2613
 165. Vasquez A, Kern KB, Hilwig RW, Heidenreich J, Berg RA, Ewy GA (2004) Optimal dosing of dobutamine for treating post-resuscitation left ventricular dysfunction. *Resuscitation* 61(2):199–207 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=15135197)
 166. Mentzelopoulos SD, Malachias S, Chamos C et al (2013) Vasopressin, steroids, and epinephrine and neurologically favorable survival after in-hospital cardiac arrest: a randomized clinical trial. *JAMA* 310(3):270–279. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.7832>
 167. Mentzelopoulos SD, Zakyntinos SG, Tzoufi M et al (2009) Vasopressin, epinephrine, and corticosteroids for in-hospital cardiac arrest. *Arch*

- Intern Med 169(1):15–24. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2008.509> (In eng)
168. Tsai MS, Chuang PY, Huang CH et al (2019) Postarrest steroid use May improve outcomes of cardiac arrest survivors. *Crit Care Med* 47(2):167–175. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003468>
 169. Donnino MW, Andersen LW, Berg KM et al (2016) Corticosteroid therapy in refractory shock following cardiac arrest: a randomized, double-blind, placebo-controlled, trial. *Crit Care*. <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1257-x>
 170. Deakin CD, Morrison LJ, Morley PT et al (2010) Part 8: advanced life support: 2010 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 81(Suppl 1):e93–e174. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2010.08.027>
 171. Skrifvars MB, Pettila V, Rosenberg PH, Castren M (2003) A multiple logistic regression analysis of in-hospital factors related to survival at six months in patients resuscitated from out-of-hospital ventricular fibrillation. *Resuscitation* 59(3):319–328
 172. Manzo-Silberman S, Fichet J, Mathonnet A et al (2013) Percutaneous left ventricular assistance in post cardiac arrest shock: comparison of intra aortic blood pump and IMPELLA Recover LP2.5. *Resuscitation* 84(5):609–615. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.10.001>
 173. O'Neill BP, Cohen MG, Basir MB et al (2019) Outcomes among patients transferred for revascularization with Impella for acute myocardial infarction with cardiogenic shock from the cVAD registry. *Am J Cardiol* 123(8):1214–1219. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2019.01.029>
 174. Ostefeld S, Lindholm MG, Kjaergaard J et al (2015) Prognostic implication of out-of-hospital cardiac arrest in patients with cardiogenic shock and acute myocardial infarction. *Resuscitation* 87:57–62. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.11.010>
 175. Thiele H, Zeymer U, Neumann FJ et al (2012) Intraaortic balloon support for myocardial infarction with cardiogenic shock. *N Engl J Med* 367(14):1287–1296. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1208410> (Multicenter Study Randomized Controlled Trial Research Support, Non-U.S. Gov't) (In eng)
 176. Ahmad Y, Sen S, Shun-Shin MJ et al (2015) Intra-aortic balloon pump therapy for acute myocardial infarction: a meta-analysis. *JAMA Intern Med* 175(6):931–939. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2015.0569>
 177. Ouweneel DM, Eriksen E, Sjaauw KD et al (2017) Percutaneous mechanical circulatory support versus intra-aortic balloon pump in cardiogenic shock after acute myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 69(3):278–287. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.10.022>
 178. Priori SG, Blomstrom-Lundqvist C, Mazzanti A et al (2015) 2015 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death: The Task Force for the Management of Patients with Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC). *Eur Heart J* 36(41):2793–2867. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv316>
 179. Maron MS, Rowin EJ, Wessler BS et al (2019) Enhanced American College of Cardiology/American Heart Association strategy for prevention of sudden cardiac death in high-risk patients with hypertrophic Cardiomyopathy. *JAMA* 4(7):644–657. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2019.1391>
 180. Alba AC, Foroutan F, Duero Posada J et al (2018) Implantable cardiac defibrillator and mortality in non-ischaeamic cardiomyopathy: an updated meta-analysis. *Heart* 104(3):230–236. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2017-311430>
 181. Lybeck A, Friberg H, Aneman A et al (2017) Prognostic significance of clinical seizures after cardiac arrest and target temperature management. *Resuscitation* 114:146–151. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.01.017>
 182. Seder DB, Sunde K, Rubertsson S et al (2015) Neurologic outcomes and postresuscitation care of patients with myoclonus following cardiac arrest. *Crit Care Med* 43(5):965–972. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000880>
 183. Gupta HV, Caviness JN (2016) Post-hypoxic myoclonus: current concepts, neurophysiology, and treatment. *Tremor Other Hyperkinet Mov* 6:409. <https://doi.org/10.7916/D89C6XM4>
 184. Elmer J, Rittenberger JC, Faro J et al (2016) Clinically distinct electroencephalographic phenotypes of early myoclonus after cardiac arrest. *Ann Neurol* 80(2):175–184. <https://doi.org/10.1002/ana.24697>
 185. Lucas JM, Cocchi MN, Saliccioli J et al (2012) Neurologic recovery after therapeutic hypothermia in patients with post-cardiac arrest myoclonus. *Resuscitation* 83(2):265–269. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2011.09.017>
 186. Bouwes A, van Poppelen D, Koelman JH et al (2012) Acute posthypoxic myoclonus after cardiopulmonary resuscitation. *BMC Neurol* 12:63. <https://doi.org/10.1186/1471-2377-12-63>
 187. Aicua Rapun I, Novy J, Solari D, Oddo M, Rossetti AO (2017) Early Lance-Adams syndrome after cardiac arrest: prevalence, time to return to awareness, and outcome in a large cohort. *Resuscitation* 115:169–172. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.03.020>
 188. Lance JW, Adams RD (1963) The syndrome of intention or action myoclonus as a sequel to hypoxic encephalopathy. *Brain* 86:111–136 (In eng)
 189. Backman S, Westhall E, Dragancea I et al (2017) Electroencephalographic characteristics of status epilepticus after cardiac arrest. *Clin Neurophysiol* 128(4):681–688. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2017.01.002>
 190. Hirsch LJ, Fong MWK, Leitinger M et al (2021) American clinical Neurophysiology Society's standardized critical care EEG terminology: 2021 version. *J Clin Neurophysiol* 38(1):1–29. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000806>
 191. Koutroumanidis M, Sakellariou D (2015) Low frequency nonevolving generalized periodic epileptiform discharges and the borderland of hypoxic nonconvulsive status epilepticus in comatose patients after cardiac arrest. *Epilepsy Behav* 49:255–262. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2015.04.060>
 192. Thomke F, Weilemann SL (2010) Poor prognosis despite successful treatment of postanoxic generalized myoclonus. *Neurology* 74(17):1392–1394. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3181dad5b9>
 193. Solanki P, Coppler PJ, Kvaloy JT et al (2019) Association of antiepileptic drugs with resolution of epileptiform activity after cardiac arrest. *Resuscitation* 142:82–90. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.07.007>
 194. Dijk JM, Tijssen MA (2010) Management of patients with myoclonus: available therapies and the need for an evidence-based approach. *Lancet Neurol* 9(10):1028–1036. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(10\)70193-9](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(10)70193-9)
 195. Zaccara G, Giorgi FS, Amantini A et al (2018) Why we prefer levetiracetam over phenytoin for treatment of status epilepticus. *Acta Neurol Scand* 137(6):618–622. <https://doi.org/10.1111/ane.12928>
 196. Brain Resuscitation Clinical Trial I Study Group. (1986) Randomized clinical study of thiopental loading in comatose survivors of cardiac arrest. *N Engl J Med* 314(7):397–403. <https://doi.org/10.1056/NEJM198602133140701>
 197. Longstreth WT Jr, Fahrenbruch CE, Olsufka M, Walsh TR, Copass MK, Cobb LA (2002) Randomized clinical trial of magnesium, diazepam, or both after out-of-hospital cardiac arrest. *Neurology* 59(4):506–514 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=12196641)
 198. Ruijter BJ, van Putten MJ, Horn J et al (2014) Treatment of electroencephalographic status epilepticus after cardiopulmonary resuscitation (TELSTAR): study protocol for a randomized controlled trial. *Trials* 15:433. <https://doi.org/10.1186/1745-6215-15-433>
 199. Beretta S, Coppo A, Bianchi E et al (2018) Neurologic outcome of postanoxic refractory status epilepticus after aggressive treatment. *Neurology* 91(23):e2153–e2162. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000006615>
 200. Dragancea I, Backman S, Westhall E, Rundgren M, Friberg H, Cronberg T (2015) Outcome following postanoxic status epilepticus in patients with targeted temperature management after cardiac arrest. *Epilepsy Behav* 49:173–177. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2015.04.043>
 201. Hofmeijer J, Tjepkema-Cloostermans MC, Blans MJ, Beishuizen A, van Putten MJ (2014) Unstandardized treatment of electroencephalographic status epilepticus does not improve outcome of comatose patients after cardiac arrest. *Front Neurol* 5:39. <https://doi.org/10.3389/fneur.2014.00039>
 202. Rossetti AO, Oddo M, Liaudet L, Kaplan PW (2009) Predictors of awakening from postanoxic status epilepticus after therapeutic hypothermia. *Neurology* 72(8):744–749. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000343006.60851.62> (In eng)
 203. Crepeau AZ, Fugate JE, Mandrekar J et al (2014) Value analysis of continuous EEG in patients during therapeutic hypothermia after cardiac arrest. *Resuscitation* 85(6):785–789. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.01.019>
 204. Sondag L, Ruijter BJ, Tjepkema-Cloostermans MC et al (2017) Early EEG for outcome prediction of postanoxic coma: prospective cohort study with cost-minimization analysis. *Crit Care* 21(1):111. <https://doi.org/10.1186/s13054-017-1693-2>
 205. Dragancea I, Horn J, Kuiper M et al (2015) Neurological prognostication after cardiac arrest and targeted temperature management 33 degrees C versus 36 degrees C: Results from a randomised controlled clinical trial. *Resuscitation* 93:164–170. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.04.013>
 206. Barbella G, Lee JW, Alvarez V et al (2020) Prediction of regaining consciousness despite an early epileptiform EEG after cardiac arrest. *Neurology* 94(16):e1675–e1683. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000009283>
 207. Rey A, Rossetti AO, Miroz JP, Eckert P, Oddo M (2019) Late awakening in survivors of postanoxic coma:

- early neurophysiologic predictors and association with ICU and long-term neurologic recovery. *Crit Care Med* 47(1):85–92. <https://doi.org/10.1097/CCM.00000000000003470>
208. Donnino MW, Andersen LW, Berg KM et al (2016) Temperature management after cardiac arrest: an advisory statement by the advanced life support task force of the international liaison committee on resuscitation and the American heart association emergency cardiovascular care committee and the council on cardiopulmonary, critical care, Perioperative and resuscitation. *Resuscitation* 98:97–104. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.09.396>
209. Donnino MW, Andersen LW, Berg KM et al (2015) Temperature management after cardiac arrest: an advisory statement by the advanced life support task force of the international liaison committee on resuscitation and the American heart association emergency cardiovascular care committee and the council on cardiopulmonary, critical care, Perioperative and resuscitation. *Circulation* 132(25):2448–2456. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000313>
210. Callaway CW, Soar J, Aibiki M et al (2015) Part 4: advanced life support: 2015 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Circulation* 132(16 Suppl 1):S84–S145. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000273>
211. Obermeyer Z, Samra JK, Mullainathan S (2017) Individual differences in normal body temperature: longitudinal big data analysis of patient records. *BMJ* 359:j5468. <https://doi.org/10.1136/bmj.j5468>
212. Coppler PJ, Marill KA, Okonkwo DO et al (2016) Concordance of brain and core temperature in comatose patients after cardiac arrest. *Ther Hypothermia Temp Manag* 6(4):194–197. <https://doi.org/10.1089/ther.2016.0010>
213. Zeiner A, Holzer M, Sterz F et al (2001) Hyperthermia after cardiac arrest is associated with an unfavorable neurologic outcome. *Arch Intern Med* 161(16):2007–2012 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=11525703)
214. Makker P, Kanei Y, Misra D (2017) Clinical effect of rebound hyperthermia after cooling postcardiac arrest: a meta-analysis. *Ther Hypothermia Temp Manag* 7(4):206–209. <https://doi.org/10.1089/ther.2017.0009>
215. Picetti E, Antonini MV, Bartolini Y et al (2016) Delayed fever and neurological outcome after cardiac arrest: a retrospective clinical study. *Neurocrit Care* 24(2):163–171. <https://doi.org/10.1007/s12028-016-0251-0>
216. Olai H, Thorneus G, Watson H et al (2020) Meta-analysis of targeted temperature management in animal models of cardiac arrest. *Intensive Care Med* 8(1):3. <https://doi.org/10.1186/s40635-019-0291-9>
217. Drury PP, Gunn ER, Bennet L, Gunn AJ (2014) Mechanisms of hypothermic neuroprotection. *Clin Perinatol* 41(1):161–175. <https://doi.org/10.1016/j.clp.2013.10.005>
218. McCullough JN, Zhang N, Reich DL et al (1999) Cerebral metabolic suppression during hypothermic circulatory arrest in humans. *Ann Thorac Surg* 67(6):1895–1899 (discussion 1919–21)
219. Gunn AJ, Thoresen M (2006) Hypothermic neuroprotection. *NeuroRx* 3(2):154–169. <https://doi.org/10.1016/j.nurx.2006.01.007>
220. Bro-Jeppesen J, Kjaergaard J, Wanscher M et al (2014) The inflammatory response after out-of-hospital cardiac arrest is not modified by targeted temperature management at 33 degrees C or 36 degrees C. *Resuscitation* 85(11):1480–1487. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.08.007>
221. Hypothermia after Cardiac Arrest Study G (2002) Mild therapeutic hypothermia to improve the neurologic outcome after cardiac arrest. *N Engl J Med* 346(8):549–556. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa012689>
222. Bernard SA, Gray TW, Buist MD et al (2002) Treatment of comatose survivors of out-of-hospital cardiac arrest with induced hypothermia. *N Engl J Med* 346(8):557–563 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=11856794)
223. Mader TJ, Nathanson BH, Soares WE 3rd, Coute RA, McNally BF (2014) Comparative effectiveness of therapeutic hypothermia after out-of-hospital cardiac arrest: insight from a large data registry. *Ther Hypothermia Temp Manag* 4(1):21–31. <https://doi.org/10.1089/ther.2013.0018>
224. Marion DW, Leonov Y, Ginsberg M et al (1996) Resuscitative hypothermia. *Crit Care Med* 24(2 Suppl):S81–S89 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8608709>)
225. Bernard SA, Smith K, Cameron P et al (2010) Induction of therapeutic hypothermia by paramedics after resuscitation from out-of-hospital ventricular fibrillation cardiac arrest: a randomized controlled trial. *Circulation* 122(7):737–742. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.109.906859>
226. Kim F, Nichol G, Maynard C et al (2014) Effect of prehospital induction of mild hypothermia on survival and neurologic status among adults with cardiac arrest: a randomized clinical trial. *JAMA* 311(1):45–52. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.282173>
227. Bernard SA, Smith K, Finn J et al (2016) Induction of therapeutic hypothermia during out-of-hospital cardiac arrest using a rapid infusion of cold saline: the RINSE trial (rapid infusion of cold normal saline). *Circulation* 134(11):797–805. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.116.021989>
228. Castren M, Nordberg P, Svensson L et al (2010) Intra-arrest transnasal evaporative cooling: a randomized, prehospital, multicenter study (PRINCE: Pre-ROSC IntraNasal Cooling Effectiveness). *Circulation* 122(7):729–736. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.109.931691>
229. Nordberg P, Taccone FS, Truhlar A et al (2019) Effect of trans-nasal evaporative intra-arrest cooling on functional neurologic outcome in out-of-hospital cardiac arrest: the PRINCESS randomized clinical trial. *JAMA* 321(17):1677–1685. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.4149>
230. Awad A, Taccone FS, Jonsson M et al (2020) Time to intra-arrest therapeutic hypothermia in out-of-hospital cardiac arrest patients and its association with neurologic outcome: a propensity matched sub-analysis of the PRINCESS trial. *Intensive Care Med* 46(7):1361–1370. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-06024-3>
231. Cronberg T, Lilja G, Horn J et al (2015) Neurologic function and health-related quality of life in patients following targeted temperature management at 33 degrees C vs 36 degrees C after out-of-hospital cardiac arrest: a randomized clinical trial. *JAMA Neurol* 72(6):634–641. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2015.0169>
232. Lilja G, Nielsen N, Friberg H et al (2015) Cognitive function in survivors of out-of-hospital cardiac arrest after target temperature management at 33 degrees C versus 36 degrees C. *Circulation* 131(15):1340–1349. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.114.014414>
233. Stammer P, Collignon O, Hassager C et al (2015) Neuron-specific enolase as a predictor of death or poor neurological outcome after out-of-hospital cardiac arrest and targeted temperature management at 33 degrees C and 36 degrees C. *J Am Coll Cardiol* 65(19):2104–2114. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2015.03.538>
234. Moseby-Knappe M, Mattsson N, Nielsen N et al (2019) Serum neurofilament light chain for prognosis of outcome after cardiac arrest. *JAMA Neurol* 76(1):64–71. <https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2018.3223>
235. Annborn M, Bro-Jeppesen J, Nielsen N et al (2014) The association of targeted temperature management at 33 and 36 degrees C with outcome in patients with moderate shock on admission after out-of-hospital cardiac arrest: a post hoc analysis of the target temperature management trial. *Intensive Care Med* 40(9):1210–1219. <https://doi.org/10.1007/s00134-014-3375-8>
236. Lopez-de-Sa E, Juarez M, Armada E et al (2018) A multicentre randomized pilot trial on the effectiveness of different levels of cooling in comatose survivors of out-of-hospital cardiac arrest: the FROST-1 trial. *Intensive Care Med* 44(11):1807–1815. <https://doi.org/10.1007/s00134-018-5256-z>
237. Deye N, Vincent F, Michel P et al (2016) Changes in cardiac arrest patients' temperature management after the 2013 "TTM" trial: results from an international survey. *Ann Intensive Care* 6(1):4. <https://doi.org/10.1186/s13613-015-0104-6>
238. Storm C, Nee J, Sunde K et al (2017) A survey on general and temperature management of post cardiac arrest patients in large teaching and university hospitals in 14 European countries—The SPAME trial results. *Resuscitation* 116:84–90. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.03.038>
239. Bray JE, Stub D, Bloom JE et al (2017) Changing target temperature from 33 degrees C to 36 degrees C in the ICU management of out-of-hospital cardiac arrest: A before and after study. *Resuscitation* 113:39–43. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.01.016>
240. Casamento A, Minson A, Radford S et al (2016) A comparison of therapeutic hypothermia and strict therapeutic normothermia after cardiac arrest. *Resuscitation* 106:83–88. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.06.019>
241. Bradley SM, Liu W, McNally B et al (2018) Temporal trends in the use of therapeutic hypothermia for out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA Netw Open* 1(7):e184511. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2018.4511>
242. Salter R, Bailey M, Bellomo R et al (2018) Changes in temperature management of cardiac arrest patients following publication of the target temperature management trial. *Crit Care Med* 46(11):1722–1730. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003339>
243. Nielsen N, Friberg H (2015) Temperature management after cardiac arrest. *Curr Opin Crit Care* 21(3):202–208. <https://doi.org/10.1097/mcc.0000000000000203> (In eng)
244. Yokoyama H, Nagao K, Hase M et al (2011) Impact of therapeutic hypothermia in the treatment of patients with out-of-hospital cardiac arrest from the J-PULSE-HYPO study registry. *Circ J* 75(5):1063–1070 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21471669>)

245. Lee BK, Lee SJ, Jeung KW, Lee HY, Heo T, Min YI (2014) Outcome and adverse events with 72-hour cooling at 32 degrees C as compared to 24-hour cooling at 33 degrees C in comatose asphyxial arrest survivors. *Am J Emerg Med* 32(4):297–301. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2013.11.046>
246. Kirkegaard H, Soreide E, de Haas I et al (2017) Targeted temperature management for 48 vs 24 hours and Neurologic outcome after out-of-hospital cardiac arrest: a randomized clinical trial. *JAMA* 318(4):341–350. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.8978>
247. Damian MS, Ellenberg D, Gildemeister R et al (2004) Coenzyme Q10 combined with mild hypothermia after cardiac arrest: a preliminary study. *Circulation* 110(19):3011–3016. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000146894.45533.C2> (In eng)
248. Grafton ST, Longstreth WT Jr (1988) Steroids after cardiac arrest: a retrospective study with concurrent, nonrandomized controls. *Neurology* 38(8):1315–1316 (In eng)
249. Gueugniaud PY, Gaussorgues P, Garcia-Darenes F et al (1990) Early effects of nimodipine on intracranial and cerebral perfusion pressures in cerebral anoxia after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 20(3):203–212 (In eng)
250. Roine RO, Kaste M, Kinnunen A, Nikki P, Sarna S, Kajaste S (1990) Nimodipine after resuscitation from out-of-hospital ventricular fibrillation: a placebo-controlled, double-blind, randomized trial. *JAMA* 264(24):3171–3177
251. Cariou A, Deye N, Vivien B et al (2016) Early high-dose erythropoietin therapy after out-of-hospital cardiac arrest: a multicenter, randomized controlled trial. *J Am Coll Cardiol* 68(1):40–49. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.04.040>
252. Argaud L, Cour M, Dubien PY et al (2016) Effect of cyclosporine in nonshockable out-of-hospital cardiac arrest: the CYRUS randomized clinical trial. *JAMA Cardiol* 1(5):557–565. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2016.1701>
253. Wiberg S, Hassager C, Schmidt H et al (2016) Neuroprotective effects of the Glucagon-like peptide-1 analog exenatide after out-of-hospital cardiac arrest: a randomized controlled trial. *Circulation* 134(25):2115–2124. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.116.024088>
254. Thoresen M, Hobbs CE, Wood T, Chakkarapani E, Dingley J (2009) Cooling combined with immediate or delayed xenon inhalation provides equivalent long-term neuroprotection after neonatal hypoxia-ischemia. *J Cereb Blood Flow Metab* 29(4):707–714. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2008.163>
255. Arola OJ, Laitio RM, Roine RO et al (2013) Feasibility and cardiac safety of inhaled xenon in combination with therapeutic hypothermia following out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care Med* 41(9):2116–2124. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31828a4337>
256. Arola O, Saraste A, Laitio R et al (2017) Inhaled xenon attenuates myocardial damage in comatose survivors of out-of-hospital cardiac arrest: the Xe-Hypotheca trial. *J Am Coll Cardiol* 70(21):2652–2660. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.09.1088>
257. Laitio R, Hynninen M, Arola O et al (2016) Effect of inhaled xenon on cerebral white matter damage in comatose survivors of out-of-hospital cardiac arrest: a randomized clinical trial. *JAMA* 315(11):1120–1128. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.1933>
258. Knapp J, Bergmann G, Bruckner T, Russ N, Bottiger BW, Popp E (2013) Pre- and postconditioning effect of Sevoflurane on myocardial dysfunction after cardiopulmonary resuscitation in rats. *Resuscitation* 84(10):1450–1455. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2013.04.012>
259. Soukup J, Selle A, Wienke A, Steighardt J, Wagner NM, Kellner P (2012) Efficiency and safety of inhalative sedation with sevoflurane in comparison to an intravenous sedation concept with propofol in intensive care patients: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials* 13:135. <https://doi.org/10.1186/1745-6215-13-135>
260. Krannich A, Leithner C, Engels M et al (2017) Isoflurane sedation on the ICU in cardiac arrest patients treated with targeted temperature management: an observational propensity-matched study. *Crit Care Med* 45(4):e384–e390. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000002185>
261. Hellstrom J, Owall A, Martling CR, Sackey PV (2014) Inhaled isoflurane sedation during therapeutic hypothermia after cardiac arrest: a case series. *Crit Care Med* 42(2):e161–e166. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3182a643d7>
262. Vrselja Z, Daniele SG, Silbereis J et al (2019) Restoration of brain circulation and cellular functions hours post-mortem. *Nature* 568(7752):336–343. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1099-1>
263. Taunyane IC, Benk C, Beyersdorf F et al (2016) Preserved brain morphology after controlled automated reperfusion of the whole body following normothermic circulatory arrest time of up to 20 minutes. *Eur J Cardiothorac Surg* 50(6):1025–1034. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezw186>
264. Trummer G, Benk C, Beyersdorf F (2019) Controlled automated reperfusion of the whole body after cardiac arrest. *J Thorac Dis* 11(Suppl 10):S1464–S1470. <https://doi.org/10.21037/jtd.2019.04.05>
265. Trummer G, Supady A, Beyersdorf F et al (2017) Controlled automated reperfusion of the whole body after 120 minutes of cardiopulmonary resuscitation: first clinical report. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 25(1):66. <https://doi.org/10.1186/s13049-017-0412-y>
266. Couper K, Laloo R, Field R, Perkins GD, Thomas M, Yeung J (2019) Prophylactic antibiotic use following cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 141:166–173. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.04.047>
267. Bjelland TW, Dale O, Kaisen K et al (2012) Propofol and remifentanyl versus midazolam and fentanyl for sedation during therapeutic hypothermia after cardiac arrest: a randomised trial. *Intensive Care Med* 38(6):959–967. <https://doi.org/10.1007/s00134-012-2540-1> ((Randomized Controlled Trial Research Support, Non-U.S. Gov't) (In eng))
268. Paul M, Bougouin W, Dumas F et al (2018) Comparison of two sedation regimens during targeted temperature management after cardiac arrest. *Resuscitation* 128:204–210. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.03.025>
269. Lascarrou JB, Le Gouge A, Dimet J et al (2014) Neuromuscular blockade during therapeutic hypothermia after cardiac arrest: observational study of neurological and infectious outcomes. *Resuscitation* 85(9):1257–1262. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.05.017>
270. May TL, Riker RR, Fraser GL et al (2018) Variation in sedation and neuromuscular blockade regimens on outcome after cardiac arrest. *Crit Care Med* 46(10):e975–e980. <https://doi.org/10.1097/CCM.00000000000003101>
271. Lee BK, Cho IS, Oh JS et al (2018) Continuous neuromuscular blockade infusion for out-of-hospital cardiac arrest patients treated with targeted temperature management: A multicenter randomized controlled trial. *PLoS ONE* 13(12):e209327. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209327>
272. Alhazzani W, Alshahrani M, Jaeschke R et al (2013) Neuromuscular blocking agents in acute respiratory distress syndrome: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Crit Care* 17(2):R43. <https://doi.org/10.1186/cc12557>
273. Perbet S, Mongardon N, Dumas F et al (2011) Early-onset pneumonia after cardiac arrest: characteristics, risk factors and influence on prognosis. *Am J Respir Crit Care Med* 184(9):1048–1054. <https://doi.org/10.1164/rccm.201102-0331OC> ((Research Support, Non-U.S. Gov't) (In eng))
274. Francois B, Cariou A, Clere-Jehl R et al (2019) Prevention of early ventilator-associated pneumonia after cardiac arrest. *N Engl J Med* 381(19):1831–1842. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1812379>
275. Williams ML, Nolan JP (2014) Is enteral feeding tolerated during therapeutic hypothermia? *Resuscitation* 85(11):1469–1472. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.08.018>
276. Krag M, Marker S, Perner A et al (2018) Pantoprazole in patients at risk for gastrointestinal bleeding in the ICU. *N Engl J Med* 379(23):2199–2208. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1714919>
277. Cook D, Guyatt G (2018) Prophylaxis against upper gastrointestinal bleeding in hospitalized patients. *N Engl J Med* 378(26):2506–2516. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1605507>
278. Wang Y, Ge L, Ye Z et al (2020) Efficacy and safety of gastrointestinal bleeding prophylaxis in critically ill patients: an updated systematic review and network meta-analysis of randomized trials. *Intensive Care Med* 46(11):1987–2000. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-06209-w>
279. Gianforcaro A, Kurz M, Guyette FX et al (2017) Association of antiplatelet therapy with patient outcomes after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 121:98–103. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.10.007>
280. Schunemann HJ, Cushman M, Burnett AE et al (2018) American Society of Hematology 2018 guidelines for management of venous thromboembolism: prophylaxis for hospitalized and nonhospitalized medical patients. *Blood Adv* 2(22):3198–3225. <https://doi.org/10.1182/bloodadvances.2018022954>
281. Duranteau J, Taccone FS, Verhamme P, Ageno W, Force EVGT (2018) European guidelines on perioperative venous thromboembolism prophylaxis: intensive care. *Eur J Anaesthesiol* 35(2):142–146. <https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000000707>
282. Llau JV, Kamphuisen P, Albaladejo P, Force EVGT (2018) European guidelines on perioperative venous thromboembolism prophylaxis: chronic treatments with antiplatelet agents. *Eur J Anaesthesiol* 35(2):139–141. <https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000000716>
283. Van Poucke S, Stevens K, Marcus AE, Lance M (2014) Hypothermia: effects on platelet function and hemostasis. *Thromb J* 12(1):31. <https://doi.org/10.1186/s12959-014-0031-z>
284. Andremon O, du Cheyron D, Terzi N et al (2018) Endovascular cooling versus standard femoral catheters and intravascular complications: a propensity-matched cohort study. *Resuscitation* 124:1–6. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.12.014>

285. American Diabetes A. 15 (2019) Diabetes care in the hospital: standards of medical care in diabetes-2019. *Diabetes Care* 42(Suppl 1):S173–S181. <https://doi.org/10.2337/dc19-S015>
286. Oksanen T, Skrifvars MB, Varpula T et al (2007) Strict versus moderate glucose control after resuscitation from ventricular fibrillation. *Intensive Care Med* 33(12):2093–2100. <https://doi.org/10.1007/s00134-007-0876-8> (In eng)
287. Investigators N-SS, Finfer S, Liu B et al (2012) Hypoglycemia and risk of death in critically ill patients. *N Engl J Med* 367(12):1108–1118. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1204942>
288. Oddo M, Poole D, Helbok R et al (2018) Fluid therapy in neurointensive care patients: ESICM consensus and clinical practice recommendations. *Intensive Care Med* 44(4):449–463. <https://doi.org/10.1007/s00134-018-5086-z>
289. Sandroni C, D'Arrigo S, Callaway CW et al (2016) The rate of brain death and organ donation in patients resuscitated from cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med* 42(11):1661–1671. <https://doi.org/10.1007/s00134-016-4549-3>
290. Sandroni C, Cariou A, Cavallaro F et al (2014) Prognostication in comatose survivors of cardiac arrest: an advisory statement from the European Resuscitation Council and the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med* 40(12):1816–1831. <https://doi.org/10.1007/s00134-014-3470-x>
291. Brain Resuscitation Clinical Trial I Study Group (1986) A randomized clinical study of cardiopulmonary-cerebral resuscitation: design, methods, and patient characteristics. *Am J Emerg Med* 4(1):72–86 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=2868736)
292. Rankin J (1957) Cerebral vascular accidents in patients over the age of 60. II. Prognosis. *Scott Med J* 2(5):200–215 (In eng) (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/13432835>)
293. Haywood K, Whitehead L, Nadkarni VM et al (2018) COSCA (core outcome set for cardiac arrest) in adults: an advisory statement from the international liaison committee on resuscitation. *Resuscitation* 127:147–163. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.03.022>
294. Banks JL, Marotta CA (2007) Outcomes validity and reliability of the modified Rankin scale: implications for stroke clinical trials: a literature review and synthesis. *Stroke* 38(3):1091–1096. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000258355.23810.c6>
295. Raina KD, Callaway C, Rittenberger JC, Holm MB (2008) Neurological and functional status following cardiac arrest: method and tool utility. *Resuscitation* 79(2):249–256. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2008.06.005>
296. Quinn TJ, Dawson J, Walters MR, Lees KR (2007) Reliability of the modified rankin scale. *Stroke* 38(11):e144. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.107.490110> (author reply e145)
297. Sandroni C, Nolan JP (2015) Neuroprognostication after cardiac arrest in Europe: new timings and standards. *Resuscitation* 90:A4–A5. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.02.020>
298. Geocadin RG, Callaway CW, Fink EL et al (2019) Standards for studies of neurological prognostication in comatose survivors of cardiac arrest: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 140(9):e517–e542. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000702>
299. Steinberg A, Callaway CW, Arnold RM et al (2019) Prognostication after cardiac arrest: Results of an international, multi-professional survey. *Resuscitation* 138:190–197. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.03.016>
300. Sandroni C, Cariou A, Cavallaro F et al (2014) Prognostication in comatose survivors of cardiac arrest: an advisory statement from the European Resuscitation Council and the European Society of Intensive Care Medicine. *Resuscitation* 85(12):1779–1789. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.08.011>
301. Sandroni C, Cavallaro F, Callaway CW et al (2013) Predictors of poor neurological outcome in adult comatose survivors of cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. Part 2: Patients treated with therapeutic hypothermia. *Resuscitation* 84(10):1324–1338. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2013.06.020>
302. Sandroni C, Cavallaro F, Callaway CW et al (2013) Predictors of poor neurological outcome in adult comatose survivors of cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. Part 1: patients not treated with therapeutic hypothermia. *Resuscitation* 84(10):1310–1323. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2013.05.013>
303. Scarpino M, Carrai R, Lolli F et al (2020) Neurophysiology for predicting good and poor neurological outcome at 12 and 72 h after cardiac arrest: The ProNeCA multicentre prospective study. *Resuscitation* 147:95–103. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.11.014>
304. Scarpino M, Lanzo G, Lolli F et al (2018) Neurophysiological and neuroradiological multimodal approach for early poor outcome prediction after cardiac arrest. *Resuscitation* 129:114–120. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.04.016>
305. Zhou SE, Maciel CB, Ormseth CH, Beekman R, Gilmore EJ, Greer DM (2019) Distinct predictive values of current neuroprognostic guidelines in post-cardiac arrest patients. *Resuscitation* 139:343–350. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.03.035>
306. Draganca I, Wise MP, Al-Subaie N et al (2017) Protocol-driven neurological prognostication and withdrawal of life-sustaining therapy after cardiac arrest and targeted temperature management. *Resuscitation* 117:50–57. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.05.014>
307. Sandroni C, Dell'anna AM, Tuijjar O, Geri G, Cariou A, Taccone FS (2016) Acute kidney injury after cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis of clinical studies. *Minerva Anestesiol* 82(9):989–999 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26957119>)
308. Paul M, Bougouin W, Geri G et al (2016) Delayed awakening after cardiac arrest: prevalence and risk factors in the Parisian registry. *Intensive Care Med* 42(7):1128–1136. <https://doi.org/10.1007/s00134-016-4349-9>
309. Nobile L, Taccone FS, Szakmany T et al (2016) The impact of extracerebral organ failure on outcome of patients after cardiac arrest: an observational study from the ICON database. *Crit Care* 20(1):368. <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1528-6>
310. Taccone FS, Horn J, Storm C et al (2019) Death after awakening from post-anoxic coma: the "Best CPC" project. *Crit Care* 23(1):107. <https://doi.org/10.1186/s13054-019-2405-x>
311. Olson DM, Stutzman S, Saju C, Wilson M, Zhao W, Aiyagari V (2016) Interrater reliability of pupillary assessments. *Neurocrit Care* 24(2):251–257. <https://doi.org/10.1007/s12028-015-0182-1>
312. Solari D, Rossetti AO, Carteron L et al (2017) Early prediction of coma recovery after cardiac arrest with blinded pupillometry. *Ann Neurol* 81(6):804–810. <https://doi.org/10.1002/ana.24943>
313. Oddo M, Sandroni C, Citerio G et al (2018) Quantitative versus standard pupillary light reflex for early prognostication in comatose cardiac arrest patients: an international prospective multicenter double-blinded study. *Intensive Care Med* 44(12):2102–2111. <https://doi.org/10.1007/s00134-018-5448-6>
314. Wijidicks EF, Bamlet WR, Maramattom BV, Manno EM, McClelland RL (2005) Validation of a new coma scale: The FOUR score. *Ann Neurol* 58(4):585–593
315. Maciel CB, Barden MM, Youn TS, Dhakar MB, Greer DM (2020) Neuroprognostication practices in postcardiac arrest patients: an international survey of critical care providers. *Crit Care Med* 48(2):e107–e114. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000004107>
316. Moseby-Knappe M, Westhall E, Backman S et al (2020) Performance of a guideline-recommended algorithm for prognostication of poor neurological outcome after cardiac arrest. *Intensive Care Med* 46(10):1852–1862. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-06080-9>
317. van Zijl JC, Beudel M, vd Hoeven HJ, Lange F, Tijssen MA, Elting JW (2016) Electroencephalographic findings in posthypoxic myoclonus. *J Intensive Care Med* 31(4):270–275. <https://doi.org/10.1177/0885066615571533>
318. Kongpolprom N, Cholkraisuwat J (2018) Neurological prognostications for the therapeutic hypothermia among comatose survivors of cardiac arrest. *Indian J Crit Care Med* 22(7):509–518. https://doi.org/10.4103/ijccm.IJCCM_500_17
319. English WA, Giffin NJ, Nolan JP (2009) Myoclonus after cardiac arrest: pitfalls in diagnosis and prognosis. *Anaesthesia* 64(8):908–911. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.2009.05939.x> (In eng)
320. Ruknudeen MI, Ramadoss R, Rajajee V, Grzeskowiak LE, Rajagopalan RE (2015) Early clinical prediction of neurological outcome following out of hospital cardiac arrest managed with therapeutic hypothermia. *Indian J Crit Care Med* 19(6):304–310. <https://doi.org/10.4103/0972-5229.158256>
321. Friberg H, Cronberg T, Dunser MW, Duranteau J, Horn J, Oddo M (2015) Survey on current practices for neurological prognostication after cardiac arrest. *Resuscitation* 90:158–162. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.01.018>
322. Westhall E, Rosen I, Rundgren M et al (2018) Time to epileptiform activity and EEG background recovery are independent predictors after cardiac arrest. *Clin Neurophysiol* 129(8):1660–1668. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2018.05.016>
323. Cloostermans MC, van Meulen FB, Eertman CJ, Hom HW, van Putten MJ (2012) Continuous electroencephalography monitoring for early prediction of neurological outcome in postanoxic patients after cardiac arrest: a prospective cohort study. *Crit Care Med* 40(10):2867–2875. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31825b94f0>
324. Rundgren M, Westhall E, Cronberg T, Rosen I, Friberg H (2010) Continuous amplitude-integrated electroencephalogram predicts outcome in hypothermia-treated cardiac arrest patients. *Crit Care Med* 38(9):1838–1844. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3181eaa1e7>
325. Oh SH, Park KN, Shon YM et al (2015) Continuous amplitude-integrated electroencephalographic monitoring is a useful prognostic tool for hypothermia-treated cardiac arrest patients.

- Circulation 132(12):1094–1103. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.115.015754>
326. Jorgensen EO, Holm S (1998) The natural course of neurological recovery following cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 36:111–122
 327. Drohan CM, Cardi AI, Rittenberger JC et al (2018) Resuscitation 124:132–137. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.11.068>
 328. Ruijter BJ, van Putten M, van den Bergh WM, Tromp SC, Hofmeijer J (2019) Propofol does not affect the reliability of early EEG for outcome prediction of comatose patients after cardiac arrest. *Clin Neurophysiol* 130(8):1263–1270. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.04.707>
 329. Westhall E, Rossetti AO, van Rootselaar AF et al (2016) Standardized EEG interpretation accurately predicts prognosis after cardiac arrest. *Neurology* 86(16):1482–1490. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000002462>
 330. Backman S, Cronberg T, Friberg H et al (2018) Highly malignant routine EEG predicts poor prognosis after cardiac arrest in the target temperature management trial. *Resuscitation* 131:24–28. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.07.024>
 331. Benarous L, Gavaret M, Soda Diop M et al (2019) Sources of interrater variability and prognostic value of standardized EEG features in post-anoxic coma after resuscitated cardiac arrest. *Clin Neurophysiol* 4:20–26. <https://doi.org/10.1016/j.cnp.2018.12.001>
 332. Caporrio M, Rossetti AO, Seiler A et al (2019) Electromyographic reactivity measured with scalp-EEG contributes to prognostication after cardiac arrest. *Resuscitation* 138:146–152. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.03.014>
 333. Lamartine Monteiro M, Taccone FS, Depondt C et al (2016) The prognostic value of 48-h continuous EEG during therapeutic hypothermia after cardiac arrest. *Neurocrit Care* 24(2):153–162. <https://doi.org/10.1007/s12028-015-0215-9>
 334. Ruijter BJ, Tjepkema-Cloostermans MC, Tromp SC et al (2019) Early electroencephalography for outcome prediction of postanoxic coma: a prospective cohort study. *Ann Neurol* 86(2):203–214. <https://doi.org/10.1002/ana.25518>
 335. Landis JR, Koch GG (1977) The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33(1):159–174
 336. Hofmeijer J, Tjepkema-Cloostermans MC, van Putten MJ (2014) Burst-suppression with identical bursts: a distinct EEG pattern with poor outcome in postanoxic coma. *Clin Neurophysiol* 125(5):947–954. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.10.017>
 337. Amorim E, Rittenberger JC, Zheng JJ et al (2016) Continuous EEG monitoring enhances multimodal outcome prediction in hypoxic-ischemic brain injury. *Resuscitation* 109:121–126. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.08.012>
 338. Leao RN, Avila P, Cavaco R, Germano N, Bento L (2015) Therapeutic hypothermia after cardiac arrest: outcome predictors. *Rev Bras Ter Intensiva* 27(4):322–332. <https://doi.org/10.5935/0103-507X.20150056>
 339. Duez CHV, Johnsen B, Ebbesen MQ et al (2019) Post resuscitation prognostication by EEG in 24 vs 48h of targeted temperature management. *Resuscitation* 135:145–152. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.10.035>
 340. Noirhomme Q, Lehenbre R, Lugo ZD et al (2014) Automated analysis of background EEG and reactivity during therapeutic hypothermia in comatose patients after cardiac arrest. *Clin EEG Neurosci* 45(1):6–13. <https://doi.org/10.1177/1550059413509616>
 341. Rossetti AO, Tovar Quiroga DF, Juan E et al (2017) Electroencephalography predicts poor and good outcomes after cardiac arrest: a two-center study. *Crit Care Med* 45(7):e674–e682. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000002337>
 342. Admiraal MM, van Rootselaar AF, Horn J (2017) Electroencephalographic reactivity testing in unconscious patients: a systematic review of methods and definitions. *Eur J Neurol* 24(2):245–254. <https://doi.org/10.1111/ene.13219>
 343. Admiraal MM, van Rootselaar AF, Hofmeijer J et al (2019) Electroencephalographic reactivity as predictor of neurological outcome in postanoxic coma: a multicenter prospective cohort study. *Ann Neurol* 86(1):17–27. <https://doi.org/10.1002/ana.25507>
 344. Alvarez V, Reinsberger C, Scirica B et al (2015) Continuous electrodermal activity as a potential novel neurophysiological biomarker of prognosis after cardiac arrest—A pilot study. *Resuscitation* 93:128–135. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.06.006>
 345. Grippo A, Carrai R, Scarpino M et al (2017) Neurophysiological prediction of neurological good and poor outcome in post-anoxic coma. *Acta Neurol Scand* 135(6):641–648. <https://doi.org/10.1111/ane.12659>
 346. Fatuzzo D, Beuchat I, Alvarez V, Novy J, Oddo M, Rossetti AO (2018) Does continuous EEG influence prognosis in patients after cardiac arrest? *Resuscitation* 132:29–32. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.08.023>
 347. Liu G, Su Y, Liu Y et al (2016) Predicting outcome in comatose patients: the role of EEG reactivity to Quantifiable electrical stimuli. *Evid Based Complement Alternat Med*. <https://doi.org/10.1155/2016/8273716>
 348. Sivaraju A, Gilmore EJ, Wira CR et al (2015) Prognostication of post-cardiac arrest coma: early clinical and electroencephalographic predictors of outcome. *Intensive Care Med* 41(7):1264–1272. <https://doi.org/10.1007/s00134-015-3834-x>
 349. Westhall E, Rosen I, Rossetti AO et al (2015) Interrater variability of EEG interpretation in comatose cardiac arrest patients. *Clin Neurophysiol* 126(12):2397–2404. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.03.017>
 350. Alvarez V, Oddo M, Rossetti AO (2013) Stimulus-induced rhythmic, periodic or ictal discharges (SIRPIDs) in comatose survivors of cardiac arrest: characteristics and prognostic value. *Clin Neurophysiol* 124(1):204–208. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2012.06.017>
 351. Sadaka F, Doerr D, Hindia J, Lee KP, Logan W (2015) Continuous electroencephalogram in comatose postcardiac arrest syndrome patients treated with therapeutic hypothermia: outcome prediction study. *J Intensive Care Med* 30(5):292–296. <https://doi.org/10.1177/0885066613517214>
 352. Ruijter BJ, van Putten MJ, Hofmeijer J (2015) Generalized epileptiform discharges in postanoxic encephalopathy: quantitative characterization in relation to outcome. *Epilepsia* 56(11):1845–1854. <https://doi.org/10.1111/epi.13202>
 353. De Santis P, Lamanna I, Mavroudakis N et al (2017) The potential role of auditory evoked potentials to assess prognosis in comatose survivors from cardiac arrest. *Resuscitation* 120:119–124. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.09.013>
 354. Amorim E, van der Stoel M, Nagaraj SB et al (2019) Quantitative EEG reactivity and machine learning for prognostication in hypoxic-ischemic brain injury. *Clin Neurophysiol* 130(10):1908–1916. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.07.014>
 355. Ruijter BJ, Hofmeijer J, Tjepkema-Cloostermans MC, van Putten M (2018) The prognostic value of discontinuous EEG patterns in postanoxic coma. *Clin Neurophysiol* 129(8):1534–1543. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2018.04.745>
 356. Nagaraj SB, Tjepkema-Cloostermans MC, Ruijter BJ, Hofmeijer J, van Putten M (2018) The revised cerebral recovery index improves predictions of neurological outcome after cardiac arrest. *Clin Neurophysiol* 129(12):2557–2566. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2018.10.004>
 357. Eertmans W, Genbrugge C, Haesevoets G et al (2017) Recorded time periods of bispectral index values equal to zero predict neurological outcome after out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care* 21(1):221. <https://doi.org/10.1186/s13054-017-1806-y>
 358. Park JH, Oh JH, Choi SP, Wee JH (2018) Neurologic outcome after out-of-hospital cardiac arrest could be predicted with the help of bispectral-index during early targeted temperature management. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 26(1):59. <https://doi.org/10.1186/s13049-018-0529-7>
 359. Stammel P, Collignon O, Werer C, Sertznig C, Devaux Y (2014) Bispectral index to predict neurological outcome early after cardiac arrest. *Resuscitation* 85(12):1674–1680. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.09.009>
 360. Horn J, Tjepkema-Cloostermans MC (2017) Somatosensory evoked potentials in patients with hypoxic-ischemic brain injury. *Semin Neurol* 37(1):60–65. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1594252>
 361. Choi SP, Park KN, Wee JH et al (2017) Can somatosensory and visual evoked potentials predict neurological outcome during targeted temperature management in post cardiac arrest patients? *Resuscitation* 119:70–75. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.06.022>
 362. Dhakal LP, Sen A, Stanko CM et al (2016) Early absent pupillary light reflexes after cardiac arrest in patients treated with therapeutic hypothermia. *Ther Hypothermia Temp Manag* 6(3):116–121. <https://doi.org/10.1089/ther.2015.0035>
 363. Hofmeijer J, Beernink TM, Bosch FH, Beishuizen A, Tjepkema-Cloostermans MC, van Putten MJ (2015) Early EEG contributes to multimodal outcome prediction of postanoxic coma. *Neurology* 85(2):137–143. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000001742>
 364. Huntgeburth M, Adler C, Rosenkranz S et al (2014) Changes in neuron-specific enolase are more suitable than its absolute serum levels for the prediction of neurologic outcome in hypothermia-treated patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Neurocrit Care* 20(3):358–366. <https://doi.org/10.1007/s12028-013-9848-8>
 365. Kim SW, Oh JS, Park J et al (2018) Short-latency positive peak following N20 somatosensory evoked potential is superior to N20 in predicting neurologic outcome after out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care Med* 46(6):e545–e551. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003083>
 366. Maciel CB, Morawo AO, Tsao CY et al (2017) SSEP in therapeutic hypothermia era. *J Clin Neurophysiol* 34(5):469–475. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000392>
 367. Maia B, Roque R, Amaral-Silva A, Lourenco S, Bento L, Alcantara J (2013) Predicting outcome after cardiopulmonary arrest in therapeutic hypothermia patients: clinical, electrophysiological and imaging prognosticators. *Acta Med*

- Port 26(2):93–97 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23809738>)
368. Oddo M, Rossetti AO (2014) Early multimodal outcome prediction after cardiac arrest in patients treated with hypothermia. *Crit Care Med* 42(6):1340–1347. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000211>
369. Tsetsou S, Novy J, Pfeiffer C, Oddo M, Rossetti AO (2018) Multimodal outcome prognostication after cardiac arrest and targeted temperature management: analysis at 36 degrees C. *Neurocrit Care* 28(1):104–109. <https://doi.org/10.1007/s12028-017-0393-8>
370. Amorim E, Ghassemi MM, Lee JW et al (2018) Estimating the false positive rate of absent somatosensory evoked potentials in cardiac arrest prognostication. *Crit Care Med* 46(12):e1213–e1221. <https://doi.org/10.1097/CCM.00000000000003436>
371. Pfeifer R, Weitzel S, Gunther A et al (2013) Investigation of the inter-observer variability effect on the prognostic value of somatosensory evoked potentials of the median nerve (SSEP) in cardiac arrest survivors using an SSEP classification. *Resuscitation* 84(10):1375–1381. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2013.05.016> (In eng)
372. Zandbergen EG, Hijdra A, de Haan RJ et al (2006) Interobserver variation in the interpretation of SSEPs in anoxic-ischaemic coma. *Clin Neurophysiol* 117(7):1529–1535
373. Helwig K, Seeger F, Holschermann H et al (2017) Elevated serum glial fibrillary acidic protein (GFAP) is associated with poor functional outcome after cardiopulmonary resuscitation. *Neurocrit Care* 27(1):68–74. <https://doi.org/10.1007/s12028-016-0371-6>
374. Mattsson N, Zetterberg H, Nielsen N et al (2017) Serum tau and neurological outcome in cardiac arrest. *Ann Neurol* 82(5):665–675. <https://doi.org/10.1002/ana.25067>
375. Rana OR, Schroder JW, Baukloh JK et al (2013) Neurofilament light chain as an early and sensitive predictor of long-term neurological outcome in patients after cardiac arrest. *Int J Cardiol* 168(2):1322–1327. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2012.12.016>
376. Streitberger KJ, Leithner C, Wattenberg M et al (2017) Neuron-specific enolase predicts poor outcome after cardiac arrest and targeted temperature management: a multicenter study on 1,053 patients. *Crit Care Med* 45(7):1145–1151. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000002335>
377. Vondrakova D, Kruger A, Janotka M et al (2017) Association of neuron-specific enolase values with outcomes in cardiac arrest survivors is dependent on the time of sample collection. *Crit Care* 21(1):172. <https://doi.org/10.1186/s13054-017-1766-2>
378. Chung-Esaki HM, Mui G, Mlynash M, Eyngorn I, Catabay K, Hirsch KG (2018) The neuron specific enolase (NSE) ratio offers benefits over absolute value thresholds in post-cardiac arrest coma prognosis. *J Clin Neurosci* 57:99–104. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2018.08.020>
379. Duez CHV, Grejs AM, Jeppesen AN et al (2018) Neuron-specific enolase and S-100b in prolonged targeted temperature management after cardiac arrest: a randomised study. *Resuscitation* 122:79–86. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.11.052>
380. Jang JH, Park WB, Lim YS et al (2019) Combination of S100B and procalcitonin improves prognostic performance compared to either alone in patients with cardiac arrest: A prospective observational study. *Medicine* 98(6):e14496. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000014496>
381. Pfeifer R, Franz M, Figulla HR (2014) Hypothermia after cardiac arrest does not affect serum levels of neuron-specific enolase and protein S-100b. *Acta Anaesthesiol Scand* 58(9):1093–1100. <https://doi.org/10.1111/aas.12386>
382. Wiberg S, Hassager C, Ståmper P et al (2017) Single versus serial measurements of neuron-specific enolase and prediction of poor neurological outcome in persistently unconscious patients after out-of-hospital cardiac arrest—A TTM-trial Substudy. *Plos One* 12(1):e168894. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168894>
383. Wihersaari L, Tiainen M, Skrifvars MB et al (2019) Usefulness of neuron specific enolase in prognostication after cardiac arrest: Impact of age and time to ROSC. *Resuscitation* 139:214–221. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.04.021>
384. Rundgren M, Cronberg T, Friberg H, Isaksson A (2014) Serum neuron specific enolase—impact of storage and measuring method. *BMC Res Notes* 7:726. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-7-726>
385. Ståmper P, Dankiewicz J, Nielsen N et al (2017) Protein S100 as outcome predictor after out-of-hospital cardiac arrest and targeted temperature management at 33 degrees C and 36 degrees C. *Crit Care* 21(1):153. <https://doi.org/10.1186/s13054-017-1729-7>
386. Wilson DH, Rissin DM, Kan CW et al (2016) The simoa HD-1 analyzer: a novel fully automated digital immunoassay analyzer with single-molecule sensitivity and multiplexing. *J Lab Autom* 21(4):533–547. <https://doi.org/10.1177/2211068215589580>
387. Wihersaari L, Ashton NJ, Reinikainen M et al (2020) Neurofilament light as an outcome predictor after cardiac arrest: a post hoc analysis of the COMACARE trial. *Intensive Care Med*. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-06218-9>
388. Keijzer HM, Hoedemaekers CWE, Meijer FJA, Tonino BAR, Klijn CJM, Hofmeijer J (2018) Brain imaging in comatose survivors of cardiac arrest: pathophysiological correlates and prognostic properties. *Resuscitation* 133:124–136. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.09.012>
389. Lee DH, Lee BK, Jeung KW et al (2018) Relationship between ventricular characteristics on brain computed tomography and 6-month neurologic outcome in cardiac arrest survivors who underwent targeted temperature management. *Resuscitation* 129:37–42. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.06.008>
390. Scarpino M, Lolli F, Lanzo G et al (2019) Neurophysiology and neuroimaging accurately predict poor neurological outcome within 24 hours after cardiac arrest: The ProNeCA prospective multicentre prognostication study. *Resuscitation* 143:115–123. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.07.032>
391. Wang GN, Chen XF, Lv JR, Sun NN, Xu XQ, Zhang JS (2018) The prognostic value of gray-white matter ratio on brain computed tomography in adult comatose cardiac arrest survivors. *J Chin Med Assoc* 81(7):599–604. <https://doi.org/10.1016/j.jcma.2018.03.003>
392. Kim JH, Kim MJ, You JS et al (2019) Multimodal approach for neurologic prognostication of out-of-hospital cardiac arrest patients undergoing targeted temperature management. *Resuscitation* 134:33–40. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.11.007>
393. Lee BK, Kim WY, Shin J et al (2016) Prognostic value of gray matter to white matter ratio in hypoxic and non-hypoxic cardiac arrest with non-cardiac etiology. *Am J Emerg Med* 34(8):1583–1588. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2016.05.063>
394. Lee KS, Lee SE, Choi JY et al (2017) Useful computed tomography score for estimation of early neurologic outcome in post-cardiac arrest patients with therapeutic hypothermia. *Crit Care* 21(1):1628–1635. <https://doi.org/10.1253/circj.CJ-16-1327>
395. Oh JH, Choi SP, Wee JH, Park JH (2019) Inter-scanner variability in Hounsfield unit measured by CT of the brain and effect on gray-to-white matter ratio. *Am J Emerg Med* 37(4):680–684. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2018.07.016>
396. Lee BK, Jeung KW, Song KH et al (2015) Prognostic values of gray matter to white matter ratios on early brain computed tomography in adult comatose patients after out-of-hospital cardiac arrest of cardiac etiology. *Resuscitation* 96:46–52. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.07.027>
397. Moseby-Knappe M, Pellis T, Dragancea I et al (2017) Head computed tomography for prognostication of poor outcome in comatose patients after cardiac arrest and targeted temperature management. *Resuscitation* 119:89–94. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.06.027>
398. Sandroni C, D'Arrigo S, Nolan JP (2018) Prognostication after cardiac arrest. *Crit Care* 22(1):150. <https://doi.org/10.1186/s13054-018-2060-7>
399. Greer DM, Scripko PD, Wu O et al (2013) Hippocampal magnetic resonance imaging abnormalities in cardiac arrest are associated with poor outcome. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 22(7):899–905. <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2012.08.006>
400. Jang J, Oh SH, Nam Y et al (2019) Prognostic value of phase information of 2D T2*-weighted gradient echo brain imaging in cardiac arrest survivors: a preliminary study. *Resuscitation* 140:142–149. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.05.026>
401. Jeon CH, Park JS, Lee JH et al (2017) Comparison of brain computed tomography and diffusion-weighted magnetic resonance imaging to predict early neurologic outcome before target temperature management comatose cardiac arrest survivors. *Resuscitation* 118:21–26. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.06.021>
402. Ryoo SM, Jeon SB, Sohn CH et al (2015) Predicting outcome with diffusion-weighted imaging in cardiac arrest patients receiving hypothermia therapy: multicenter retrospective cohort study. *Crit Care Med* 43(11):2370–2377. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000001263>
403. Kim J, Kim K, Hong S et al (2013) Low apparent diffusion coefficient cluster-based analysis of diffusion-weighted MRI for prognostication of out-of-hospital cardiac arrest survivors. *Resuscitation* 84(10):1393–1399. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2013.04.011>
404. Moon HK, Jang J, Park KN et al (2018) Quantitative analysis of relative volume of low apparent diffusion coefficient value can predict neurologic outcome after cardiac arrest. *Resuscitation* 126:36–42. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.02.020>
405. Hirsch KG, Fischbein N, Mlynash M et al (2020) Prognostic value of diffusion-weighted MRI for post-cardiac arrest coma. *Neurology* 94(16):e1684–e1692. <https://doi.org/10.1212/WNL.00000000000009289>

406. Bongiovanni F, Romagnosi F, Barbella G et al (2020) Standardized EEG analysis to reduce the uncertainty of outcome prognostication after cardiac arrest. *Intensive Care Med* 46(5):963–972. <https://doi.org/10.1007/s00134-019-05921-6>
407. Hirsch LJ, LaRoche SM, Gaspard N et al (2013) American Clinical Neurophysiology society's standardized critical care EEG terminology: 2012 version. *J Clin Neurophysiol* 30(1):1–27. <https://doi.org/10.1097/WNP.0b013e3182784729>
408. Sharshar T, Citerio G, Andrews PJ et al (2014) Neurological examination of critically ill patients: a pragmatic approach. Report of an ESICM expert panel. *Intensive Care Med* 40(4):484–495. <https://doi.org/10.1007/s00134-014-3214-y>
409. Sandroni C, Grippo A, Nolan JP (2020) ERC-ESICM guidelines for prognostication after cardiac arrest: time for an update. *Intensive Care Med* 46(10):1901–1903. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-06224-x>
410. Beuchat I, Solari D, Novy J, Oddo M, Rossetti AO (2018) Standardized EEG interpretation in patients after cardiac arrest: correlation with other prognostic predictors. *Resuscitation* 126:143–146. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.03.012>
411. Fredland A, Backman S, Westhall E (2019) Stratifying comatose postanoxic patients for somatosensory evoked potentials using routine EEG. *Resuscitation* 143:17–21. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.07.027>
412. Beuchat I, Novy J, Barbella G, Oddo M, Rossetti AO (2020) EEG patterns associated with present cortical SSEP after cardiac arrest. *Acta Neurol Scand* 142(2):181–185. <https://doi.org/10.1111/ane.13264>
413. Scarpino M, Lolli F, Lanzo G et al (2020) Does a combination of $\gamma/\alpha=2$ abnormal tests vs. the ERC-ESICM stepwise algorithm improve prediction of poor neurological outcome after cardiac arrest? A post-hoc analysis of the ProNeCA multicentre study. *Resuscitation*. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.12.003>
414. Bouwes A, Binnekade JM, Kuiper MA et al (2012) Prognosis of coma after therapeutic hypothermia: a prospective cohort study. *Ann Neurol* 71(2):206–212. <https://doi.org/10.1002/ana.22632>
415. Hakimi K, Kinney G, Kraft G, Micklesen P, Robinson L (2009) Reliability in interpretation of median somatosensory evoked potentials in the setting of coma: factors and implications. *Neurocrit Care* 11(3):353–361. <https://doi.org/10.1007/s12028-009-9251-7>
416. Wijidicks EF, Hijdra A, Young GB, Bassetti CL, Wiebe S (2006) Practice parameter: prediction of outcome in comatose survivors after cardiopulmonary resuscitation (an evidence-based review): report of the Quality Standards Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology* 67(2):203–210
417. Gold B, Puertas L, Davis SP et al (2014) Awakening after cardiac arrest and post resuscitation hypothermia: are we pulling the plug too early? *Resuscitation* 85(2):211–214. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2013.10.030>
418. Lybeck A, Cronberg T, Aneman A et al (2018) Time to awakening after cardiac arrest and the association with target temperature management. *Resuscitation* 126:166–171. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.01.027>
419. Nakstad ER, Staer-Jensen H, Wimmer H et al (2020) Late awakening, prognostic factors and long-term outcome in out-of-hospital cardiac arrest—results of the prospective Norwegian Cardio-Respiratory Arrest Study (NORCAST). *Resuscitation* 149:170–179. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.12.031>
420. Cronberg T, Kuiper M (2017) Withdrawal of life-sustaining therapy after cardiac arrest. *Semin Neurol* 37(1):81–87. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1595814>
421. Levin PD, Sprung CL (2005) Withdrawing and withholding life-sustaining therapies are not the same. *Crit Care* 9(3):230–232. <https://doi.org/10.1186/cc3487>
422. Sprung CL, Woodcock T, Sjøkvist P et al (2008) Reasons, considerations, difficulties and documentation of end-of-life decisions in European intensive care units: the ETHICUS Study. *Intensive Care Med* 34(2):271–277. <https://doi.org/10.1007/s00134-007-0927-1>
423. Sprung CL, Ricou B, Hartog CS et al (2019) Changes in end-of-life practices in European intensive care units from 1999 to 2016. *JAMA*. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.14608>
424. Elmer J, Torres C, Aufderheide TP et al (2016) Association of early withdrawal of life-sustaining therapy for perceived neurological prognosis with mortality after cardiac arrest. *Resuscitation* 102:127–135. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.01.016>
425. May TL, Ruthazer R, Riker RR et al (2019) Early withdrawal of life support after resuscitation from cardiac arrest is common and may result in additional deaths. *Resuscitation* 139:308–313. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.02.031>
426. Cochrane TI (2009) Unnecessary time pressure in refusal of life-sustaining therapies: fear of missing the opportunity to die. *Am J Bioeth* 9(4):47–54. <https://doi.org/10.1080/15265160902718857>
427. Kitzinger J, Kitzinger C (2013) The 'window of opportunity' for death after severe brain injury: family experiences. *Social Health Illn* 35(7):1095–1112. <https://doi.org/10.1111/1467-9566.12020>
428. Dale CM, Sinuff T, Morrison LJ, Golan E, Scales DC (2016) Understanding early decisions to withdraw life-sustaining therapy in cardiac arrest survivors. A qualitative investigation. *Ann Am Thorac Soc* 13(7):1115–1122. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.201511-7510C>
429. Lazaridis C (2019) Withdrawal of life-sustaining treatments in perceived devastating brain injury: the key role of uncertainty. *Neurocrit Care* 30(1):33–41. <https://doi.org/10.1007/s12028-018-0595-8>
430. Downar J, Delaney JW, Hawryluck L, Kenny L (2016) Guidelines for the withdrawal of life-sustaining measures. *Intensive Care Med* 42(6):1003–1017. <https://doi.org/10.1007/s00134-016-4330-7>
431. Matthews EA, Magid-Bernstein J, Presciutti A et al (2017) Categorization of survival and death after cardiac arrest. *Resuscitation* 114:79–82. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.03.005>
432. Kim YJ, Ahn S, Sohn CH et al (2016) Long-term neurological outcomes in patients after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 101:1–5. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.01.004>
433. Petzinka VN, Endisch C, Streitberger KJ et al (2018) Unresponsive wakefulness or coma after cardiac arrest—a long-term follow-up study. *Resuscitation* 131:121–127. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.07.007>
434. Phelps R, Dumas F, Maynard C, Silver J, Rea T (2013) Cerebral performance category and long-term prognosis following out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care Med* 41(5):1252–1257. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31827ca975> (In eng)
435. Dyson K, Brown SP, May S et al (2019) International variation in survival after out-of-hospital cardiac arrest: a validation study of the Utstein template. *Resuscitation* 138:168–181. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.03.018>
436. Smith K, Andrew E, Lijovic M, Nehme Z, Bernard S (2015) Quality of life and functional outcomes 12 months after out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 131(2):174–181. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.114.011200>
437. Green CR, Botha JA, Tiruvoipati R (2015) Cognitive function, quality of life and mental health in survivors of four-of-hospital cardiac arrest: a review. *Anaesth Intensive Care* 43(5):568–576. <https://doi.org/10.1177/0310057X1504300504>
438. Wilder Schaaf KP, Artman LK, Peberdy MA et al (2013) Anxiety, depression, and PTSD following cardiac arrest: a systematic review of the literature. *Resuscitation* 84(7):873–877. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.11.021>
439. Sawyer KN (2020) Reintegration & recovery after surviving cardiac arrest: learning from the VACAR registry. *Resuscitation* 146:255–257. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.10.027>
440. Tiainen M, Poutiainen E, Oksanen T et al (2015) Functional outcome, cognition and quality of life after out-of-hospital cardiac arrest and therapeutic hypothermia: data from a randomized controlled trial. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 23:12. <https://doi.org/10.1186/s13049-014-0084-9>
441. Caro-Codon J, Rey JR, Lopez-de-Sa E et al (2018) Long-term neurological outcomes in out-of-hospital cardiac arrest patients treated with targeted-temperature management. *Resuscitation* 133:33–39. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.09.015>
442. Sабedra AR, Kristan J, Raina K et al (2015) Neurocognitive outcomes following successful resuscitation from cardiac arrest. *Resuscitation* 90:67–72. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.02.023>
443. Lim C, Verfaellie M, Schnyer D, Lafleche G, Alexander MP (2014) Recovery, long-term cognitive outcome and quality of life following out-of-hospital cardiac arrest. *J Rehabil Med* 46(7):691–697. <https://doi.org/10.2340/16501977-1816>
444. Orbo M, Aslaksen PM, Larsby K, Schafer C, Tande PM, Anke A (2016) Alterations in cognitive outcome between 3 and 12 months in survivors of out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 105:92–99. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.05.017>
445. Steinbusch CVM, van Heugten CM, Rasquin SMC, Verbunt JA, Moolaert VRM (2017) Cognitive impairments and subjective cognitive complaints after survival of cardiac arrest: A prospective longitudinal cohort study. *Resuscitation* 120:132–137. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.08.007>
446. Moolaert VRM, van Heugten CM, Gorgels TPM, Wade DT, Verbunt JA (2017) Long-term outcome after survival of a cardiac arrest: a prospective longitudinal cohort study. *Neurorehabil Neural Repair* 31(6):530–539. <https://doi.org/10.1177/1545968317697032>
447. Lilja G, Nilsson G, Nielsen N et al (2015) Anxiety and depression among out-of-hospital cardiac arrest survivors. *Resuscitation* 97:68–75. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.09.389>
448. Viktorissov A, Sunnerhagen KS, Johansson D, Herlitz J, Axelsson A (2019) One-year longitudinal

- study of psychological distress and self-assessed health in survivors of out-of-hospital cardiac arrest. *BMJ Open* 9(7):e29756. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-029756>
449. Presciutti A, Sobczak E, Sumner JA et al (2019) The impact of psychological distress on long-term recovery perceptions in survivors of cardiac arrest. *J Crit Care* 50:227–233. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2018.12.011>
450. Rosman L, Ford J, Whited A et al (2016) Compound risk: history of traumatic stress predicts posttraumatic stress disorder symptoms and severity in sudden cardiac arrest survivors. *Eur J Cardiovasc Nurs* 15(5):372–379. <https://doi.org/10.1177/1474515115587165>
451. Juan E, De Lucia M, Beaud V et al (2018) How do you feel? Subjective perception of recovery as a reliable surrogate of cognitive and functional outcome in cardiac arrest survivors. *Crit Care Med* 46(4):e286–e293. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000002946>
452. Lilja G, Nielsen N, Bro-Jeppesen J et al (2018) Return to work and participation in society after out-of-hospital cardiac arrest. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 11(1):e3566. <https://doi.org/10.1161/CIRCOUTCOMES.117.003566>
453. Geri G, Dumas F, Bonnetain F et al (2017) Predictors of long-term functional outcome and health-related quality of life after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 113:77–82. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.01.028>
454. Bohm M, Lilja G, Finnogadottir H et al (2019) Detailed analysis of health-related quality of life after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 135:197–204. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.10.028>
455. Orbo M, Aslaksen PM, Larsby K et al (2015) Relevance of cognition to health-related quality of life in good-outcome survivors of out-of-hospital cardiac arrest. *J Rehabil Med* 47(9):860–866. <https://doi.org/10.2340/16501977-1998>
456. Tiainen M, Vaahersalo J, Skrifvars MB, Hastbacka J, Gronlund J, Pettila V (2018) Surviving out-of-hospital cardiac arrest: the neurological and functional outcome and health-related quality of life one year later. *Resuscitation* 129:19–23. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.05.011>
457. Beeseems SG, Wittebrood KM, de Haan RJ, Koster RW (2014) Cognitive function and quality of life after successful resuscitation from cardiac arrest. *Resuscitation* 85(9):1269–1274. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.05.027>
458. Descatha A, Dumas F, Bougouin W, Cariou A, Geri G (2018) Work factors associated with return to work in out-of-hospital cardiac arrest survivors. *Resuscitation* 128:170–174. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.05.021>
459. Kearney J, Dyson K, Andrew E, Bernard S, Smith K (2020) Factors associated with return to work among survivors of out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 146:203–212. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.09.006>
460. Kragholm K, Wissenberg M, Mortensen RN et al (2015) Return to work in out-of-hospital cardiac arrest survivors: a nationwide register-based follow-up study. *Circulation* 131(19):1682–1690. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.114.011366>
461. Larsson IM, Wallin E, Rubertsson S, Kristofferzon ML (2014) Health-related quality of life improves during the first six months after cardiac arrest and hypothermia treatment. *Resuscitation* 85(2):215–220. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2013.09.017>
462. Moulart VR, Wachelder EM, Verbunt JA, Wade DT, van Heugten CM (2010) Determinants of quality of life in survivors of cardiac arrest. *J Rehabil Med* 42(6):553–558. <https://doi.org/10.2340/16501977-0547>
463. Bunch TJ, White RD, Khan AH, Packer DL (2004) Impact of age on long-term survival and quality of life following out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care Med* 32(4):963–967 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=15071386)
464. Viktorisson A, Sunnerhagen KS, Poder U, Herlitz J, Axelsson AB (2018) Well-being among survivors of out-of-hospital cardiac arrest: a cross-sectional retrospective study in Sweden. *BMJ Open* 8(6):e21729. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-021729>
465. Nehme Z, Andrew E, Bernard S, Smith K (2019) Sex differences in the quality-of-life and functional outcome of cardiac arrest survivors. *Resuscitation* 137:21–28. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.01.034>
466. Verberne D, Moulart V, Verbunt J, van Heugten C (2018) Factors predicting quality of life and societal participation after survival of a cardiac arrest: a prognostic longitudinal cohort study. *Resuscitation* 123:51–57. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.11.069>
467. Elliott VJ, Rodgers DL, Brett SJ (2011) Systematic review of quality of life and other patient-centred outcomes after cardiac arrest survival. *Resuscitation* 82(3):247–256. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2010.10.030> (In eng)
468. Haydon G, van der Riet P, Maguire J (2017) Survivors' quality of life after cardiopulmonary resuscitation: an integrative review of the literature. *Scand J Caring Sci* 31(1):6–26. <https://doi.org/10.1111/scs.12323>
469. Grasner JTH, Tjelmeland IBM, Wnent J, Masteron S, Lilja G, Bein B, Bottiger BW, Rosell-Ortiz F, Nolan JP, Bossaert L, Perkins GD (2021) European Resuscitation Council Guidelines 2021: Epidemiology of cardiac arrest in Europe. *Resuscitation*. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.007>
470. Schweickert WD, Pohlman MC, Pohlman AS et al (2009) Early physical and occupational therapy in mechanically ventilated, critically ill patients: a randomised controlled trial. *Lancet* 373(9678):1874–1882. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)60658-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)60658-9)
471. Brummel NE, Girard TD, Ely EW et al (2014) Feasibility and safety of early combined cognitive and physical therapy for critically ill medical and surgical patients: the Activity and Cognitive Therapy in ICU (ACT-ICU) trial. *Intensive Care Med* 40(3):370–379. <https://doi.org/10.1007/s00134-013-3136-0>
472. Bonyk CS, Rengel KF, Pandharipande PP, Hughes CG (2019) In the ICU—delirium post cardiac arrest. *Curr Opin Crit Care* 25(3):218–225. <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000615>
473. Excellence NfHaC Rehabilitation after critical illness in adults. Clinical Guideline 83. National Institute for Health and Care Excellence. <https://www.nice.org.uk/guidance/cg83>. Zugriffen: 25.3.2021
474. Boyce LW, Goossens PH, Moulart VR, Pound G, van Heugten CM (2019) Out-of-hospital cardiac arrest survivors need both cardiological and neurological rehabilitation! *Curr Opin Crit Care* 25(3):240–243. <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000609>
475. Cronberg T, Greer DM, Lilja G, Moulart V, Swindell P, Rossetti AO (2020) Brain injury after cardiac arrest: from prognostication of comatose patients to rehabilitation. *Lancet Neurol* 19(7):611–622. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(20\)30117-4](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(20)30117-4)
476. Mion M, Al-Janabi F, Islam S et al (2020) Care after REsuscitation: implementation of the united kingdom's first dedicated multidisciplinary follow-up program for survivors of out-of-hospital cardiac arrest. *Ther Hypothermia Temp Manag* 10(1):53–59. <https://doi.org/10.1089/ther.2018.0048>
477. Moulart VR, van Heugten CM, Winkens B et al (2015) Early neurologically-focused follow-up after cardiac arrest improves quality of life at one year: a randomised controlled trial. *Int J Cardiol* 193:8–16. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2015.04.229>
478. Moulart VR, Goossens M, Heijnders IL, Verbunt JA, Heugten CM (2016) Early neurologically focused follow-up after cardiac arrest is cost-effective: a trial-based economic evaluation. *Resuscitation* 106:30–36. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.06.015>
479. Moulart VR, Verbunt JA, Bakx WG et al (2011) 'Stand still ... , and move on', a new early intervention service for cardiac arrest survivors and their caregivers: rationale and description of the intervention. *Clin Rehabil* 25(10):867–879. <https://doi.org/10.1177/0269215511399937>
480. Moulart VR, van Haastregt JC, Wade DT, van Heugten CM, Verbunt JA (2014) 'Stand still ... , and move on', an early neurologically-focused follow-up for cardiac arrest survivors and their caregivers: a process evaluation. *BMC Health Serv Res* 14:34. <https://doi.org/10.1186/1472-6963-14-34>
481. Lilja G (2017) Follow-up of cardiac arrest survivors: why, how, and when? A practical approach. *Semin Neurol* 37(1):88–93. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1593859>
482. Boyce LW, Goossens PH (2017) Rehabilitation after cardiac arrest: integration of neurologic and cardiac rehabilitation. *Semin Neurol* 37(1):94–102. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1593860>
483. Blennow Nordstrom E, Lilja G, Arestedt K et al (2017) Validity of the IQCODE-CA: an informant questionnaire on cognitive decline modified for a cardiac arrest population. *Resuscitation* 118:8–14. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.06.012>
484. van Heugten C, Rasquin S, Winkens I, Beusmans G, Verhey F (2007) Checklist for cognitive and emotional consequences following stroke (CLCE-24): development, usability and quality of the self-report version. *Clin Neurol Neurosurg* 109(3):257–262. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2006.10.002>
485. Blennow Nordstrom E, Lilja G (2019) Assessment of neurocognitive function after cardiac arrest. *Curr Opin Crit Care* 25(3):234–239. <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000607>
486. Nasreddine ZS, Phillips NA, Bedirian V et al (2005) The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. *J Am Geriatr Soc* 53(4):695–699. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x>
487. Koller AC, Rittenberger JC, Repine MJ et al (2017) Comparison of three cognitive exams in cardiac arrest survivors. *Resuscitation* 116:98–104. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.04.011>
488. Cicerone KD, Goldin Y, Ganci K et al (2019) Evidence-based cognitive rehabilitation: systematic review of the literature from 2009 through 2014. *Arch Phys Med Rehabil* 100(8):1515–1533. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2019.02.011>

489. Snaith RP (2003) The hospital anxiety and depression scale. *Health Qual Life Outcomes* 1:29. <https://doi.org/10.1186/1477-7525-1-29>
490. Larsson IM, Wallin E, Rubertsson S, Kristoferzon ML (2013) Relatives' experiences during the next of kin's hospital stay after surviving cardiac arrest and therapeutic hypothermia. *Eur J Cardiovasc Nurs* 12(4):353–359. <https://doi.org/10.1177/1474515112459618>
491. Brown JP, Clark AM, Dalal H, Welch K, Taylor RS (2011) Patient education in the management of coronary heart disease. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008895.pub2>
492. Israelsson J, Lilja G, Bremer A, Stevenson-Agren J, Arestedt K (2016) Post cardiac arrest care and follow-up in Sweden—a national web-survey. *BMC Nurs* 15:1. <https://doi.org/10.1186/s12912-016-0123-0>
493. Sawyer KN, Brown F, Christensen R, Damino C, Newman MM, Kurz MC (2016) Surviving sudden cardiac arrest: a pilot qualitative survey study of survivors. *Ther Hypothermia Temp Manag* 6(2):76–84. <https://doi.org/10.1089/ther.2015.0031>
494. van Wijnen HG, Rasquin SM, van Heugten CM, Verbunt JA, Moolaert VR (2017) The impact of cardiac arrest on the long-term wellbeing and caregiver burden of family caregivers: a prospective cohort study. *Clin Rehabil* 31(9):1267–1275. <https://doi.org/10.1177/0269215516686155>
495. Zimmerli M, Tisljar K, Balestra GM, Langewitz W, Marsch S, Hunziker S (2014) Prevalence and risk factors for post-traumatic stress disorder in relatives of out-of-hospital cardiac arrest patients. *Resuscitation* 85(6):801–808. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.02.022>
496. Van't Wout Hofland J, Moolaert V, van Heugten C, Verbunt J (2018) Long-term quality of life of caregivers of cardiac arrest survivors and the impact of witnessing a cardiac event of a close relative. *Resuscitation* 128:198–203. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.03.016>
497. Adiguzel E, Yasar E, Kesikburun S et al (2018) Are rehabilitation outcomes after severe anoxic brain injury different from severe traumatic brain injury? A matched case-control study. *Int J Rehabil Res* 41(1):47–51. <https://doi.org/10.1097/MRR.0000000000000261>
498. Shah MK, Carayannopoulos AG, Burke DT, Al-Adawi S (2007) A comparison of functional outcomes in hypoxia and traumatic brain injury: a pilot study. *J Neurol Sci* 260(1–2):95–99. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2007.04.012>
499. Fertl E, Vass K, Sterz F, Gabriel H, Auff E (2000) Neurological rehabilitation of severely disabled cardiac arrest survivors. Part I. Course of post-acute inpatient treatment. *Resuscitation* 47(3):231–239 (In eng)
500. Jolliffe L, Lannin NA, Cadilhac DA, Hoffmann T (2018) Systematic review of clinical practice guidelines to identify recommendations for rehabilitation after stroke and other acquired brain injuries. *Bmj Open* 8(2):e18791. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-018791>
501. Lee SY, Amatya B, Judson R et al (2019) Clinical practice guidelines for rehabilitation in traumatic brain injury: a critical appraisal. *Brain Inj* 33(10):1263–1271. <https://doi.org/10.1080/02699052.2019.1641747>
502. Winstein CJ, Stein J, Arena R et al (2016) Guidelines for adult stroke rehabilitation and recovery: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke* 47(6):e98–e169. <https://doi.org/10.1161/STR.0000000000000098>
503. Needham DM, Davidson J, Cohen H et al (2012) Improving long-term outcomes after discharge from intensive care unit: report from a stakeholders' conference. *Crit Care Med* 40(2):502–509. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e318232da75>
504. Mehlhorn J, Freytag A, Schmidt K et al (2014) Rehabilitation interventions for postintensive care syndrome: a systematic review. *Crit Care Med* 42(5):1263–1271. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000148>
505. Walsh TS, Salisbury LG, Merriweather JL et al (2015) Increased hospital-based physical rehabilitation and information provision after intensive care unit discharge: the RECOVER randomized clinical trial. *JAMA Intern Med* 175(6):901–910. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2015.0822>
506. Anderson L, Taylor RS (2014) Cardiac rehabilitation for people with heart disease: an overview of Cochrane systematic reviews. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011273.pub2>
507. Piepoli MF, Corra U, Adamopoulos S et al (2014) Secondary prevention in the clinical management of patients with cardiovascular diseases. Core components, standards and outcome measures for referral and delivery: a policy statement from the cardiac rehabilitation section of the European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation. Endorsed by the Committee for Practice Guidelines of the European Society of Cardiology. *Eur J Prev Cardiol* 21(6):664–681. <https://doi.org/10.1177/2047487312449597>
508. Piepoli MF, Hoes AW, Agewall S et al (2016) 2016 European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: The Sixth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice (constituted by representatives of 10 societies and by invited experts) Developed with the special contribution of the European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation (EACPR). *Eur Heart J* 37(29):2315–2381. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehw106>
509. Anderson L, Thompson DR, Oldridge N et al (2016) Exercise-based cardiac rehabilitation for coronary heart disease. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001800.pub3>
510. Taylor RS, Dalal H, Jolly K, Moxham T, Zawada A (2010) Home-based versus centre-based cardiac rehabilitation. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD007130.pub2>
511. Bjarnason-Wehrens B, McGee H, Zwisler AD et al (2010) Cardiac rehabilitation in Europe: results from the European cardiac rehabilitation inventory survey. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 17(4):410–418. <https://doi.org/10.1097/HJR.0b013e328334f42d>
512. Kakos LS, Szabo AJ, Gunstad J et al (2010) Reduced executive functioning is associated with poorer outcome in cardiac rehabilitation. *Prev Cardiol* 13(3):100–103. <https://doi.org/10.1111/j.1751-7141.2009.00065.x>
513. Franklin BA (2010) Cognitive impairment: a new predictor of exercise trainability and outcomes in cardiac rehabilitation? *Prev Cardiol* 13(3):97–99. <https://doi.org/10.1111/j.1751-7141.2010.00077.x>
514. Larsen KK, Christensen B, Sondergaard J, Vester-gaard M (2013) Depressive symptoms and risk of new cardiovascular events or death in patients with myocardial infarction: a population-based longitudinal study examining health behaviors and health care interventions. *Plos One* 8(9):e74393. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0074393>
515. Wilson BA (2000) Compensating for cognitive deficits following brain injury. *Neuropsychol Rev* 10(4):233–243. <https://doi.org/10.1023/a:1026464827874>
516. Zedlitz AM, Rietveld TC, Geurts AC, Fasotti L (2012) Cognitive and graded activity training can alleviate persistent fatigue after stroke: a randomized, controlled trial. *Stroke* 43(4):1046–1051. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.111.632117>
517. Wylie GR, Flashman LA (2017) Understanding the interplay between mild traumatic brain injury and cognitive fatigue: models and treatments. *Concussion* 2(4):CNC50. <https://doi.org/10.2217/cnc-2017-0003>
518. Kim YJ, Rogers JC, Raina KD et al (2017) Solving fatigue-related problems with cardiac arrest survivors living in the community. *Resuscitation* 118:70–74. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.07.005>
519. Kim YJ, Rogers JC, Raina KD et al (2016) An intervention for cardiac arrest survivors with chronic fatigue: A feasibility study with preliminary outcomes. *Resuscitation* 105:109–115. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.05.020>
520. Dougherty CM, Thompson EA, Lewis FM (2005) Long-term outcomes of a telephone intervention after an ICD. *Pacing Clin Electrophysiol* 28(11):1157–1167. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2005.09500.x>
521. Cowan MJ, Pike KC, Budzynski HK (2001) Psychosocial nursing therapy following sudden cardiac arrest: impact on two-year survival. *Nurs Res* 50(2):68–76 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11302295>)
522. Dougherty CM, Pyper GP, Frasz HA (2004) Description of a nursing intervention program after an implantable cardioverter defibrillator. *Heart Lung* 33(3):183–190. <https://doi.org/10.1016/j.hrtlng.2004.01.003>
523. Bendorf A, Kelly PJ, Kerridge I H et al (2013) An international comparison of the effect of policy shifts to organ donation following cardiocirculatory death (DCD) on donation rates after brain death (DBD) and transplantation rates. *Plos One* 8(5):e62010. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062010>
524. Nolan JP, Ferrando P, Soar J et al (2016) Increasing survival after admission to UK critical care units following cardiopulmonary resuscitation. *Crit Care* 20(1):219. <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1390-6>
525. Thuong M, Ruiz A, Evrard P et al (2016) New classification of donation after circulatory death donors definitions and terminology. *Transpl Int* 29(7):749–759. <https://doi.org/10.1111/tri.12776>
526. Sandroni C, Adrie C, Cavallaro F et al (2010) Are patients brain-dead after successful resuscitation from cardiac arrest suitable as organ donors? A systematic review. *Resuscitation* 81(12):1609–1614. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2010.08.037> ((Comparative Study Review) (In eng))
527. West S, Soar J, Callaway CW (2016) The viability of transplanting organs from donors who underwent cardiopulmonary resuscitation: a systematic review. *Resuscitation* 108:27–33. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.07.229>
528. Minambres E, Rubio JJ, Coll E, Dominguez-Gil B (2018) Donation after circulatory death and its expansion in Spain. *Curr Opin Organ Transplant* 23(1):120–129. <https://doi.org/10.1097/MOT.0000000000000480>

529. Stiles MK, Wilde AAM, Abrams DJ et al (2020) 2020 AHA/ACC/HRS expert consensus statement on the investigation of decedents with sudden unexplained death and patients with sudden cardiac arrest, and of their families. *Heart Rhythm*. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2020.10.010>
530. Ranthe MF, Winkel BG, Andersen EW et al (2013) Risk of cardiovascular disease in family members of young sudden cardiac death victims. *Eur Heart J* 34(7):503–511. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehs350>
531. Skinner JR (2013) Investigation following resuscitated cardiac arrest. *Arch Dis Child* 98(1):66–71. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2011-301515>
532. Skinner JR (2012) Investigating sudden unexpected death in the young: a chance to prevent further deaths. *Resuscitation* 83(10):1185–1186. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.06.018>
533. Fellmann F, van El Charron CGP et al (2019) European recommendations integrating genetic testing into multidisciplinary management of sudden cardiac death. *Eur J Hum Genet* 27(12):1763–1773. <https://doi.org/10.1038/s41431-019-0445-y>
534. Sinha SS, Chen LM, Nallamothu BK (2014) Survival by the fittest: hospital-level variation in quality of resuscitation care. *JAMA* 311(1):e768. <https://doi.org/10.1161/JAMA.113.000768>
535. Carr BG, Goyal M, Band RA et al (2009) A national analysis of the relationship between hospital factors and post-cardiac arrest mortality. *Intensive Care Med* 35(3):505–511. <https://doi.org/10.1007/s00134-008-1335-x> (In eng)
536. May TL, Lary CW, Riker RR et al (2019) Variability in functional outcome and treatment practices by treatment center after out-of-hospital cardiac arrest: analysis of International Cardiac Arrest Registry. *Intensive Care Med* 45(5):637–646. <https://doi.org/10.1007/s00134-019-05580-7>
537. Matsuyama T, Kiyohara K, Kitamura T et al (2017) Hospital characteristics and favourable neurological outcome among patients with out-of-hospital cardiac arrest in Osaka, Japan. *Resuscitation* 110:146–153. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.11.009>
538. Tagami T, Hirata K, Takeshige T et al (2012) Implementation of the fifth link of the chain of survival concept for out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 126(5):589–597. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.111.086173>
539. Kragholm K, Malta Hansen C, Dupre ME et al (2017) Direct transport to a percutaneous cardiac intervention center and outcomes in patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 10(6):e3414. <https://doi.org/10.1161/CIRCOUTCOMES.116.003414>
540. Spaitte DW, Bobrow BJ, Stolz U et al (2014) Statewide regionalization of postarrest care for out-of-hospital cardiac arrest: association with survival and neurologic outcome. *Ann Emerg Med* 64(5):496–506e1. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2014.05.028>
541. Couper K, Kimani PK, Gale CP et al (2018) Patient, health service factors and variation in mortality following resuscitated out-of-hospital cardiac arrest in acute coronary syndrome: analysis of the Myocardial Ischaemia National Audit Project. *Resuscitation* 124:49–57. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.01.011>
542. Soholm H, Kjaergaard J, Bro-Jeppesen J et al (2015) Prognostic implications of level-of-care at tertiary heart centers compared with other hospitals after resuscitation from out-of-hospital cardiac arrest. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 8(3):268–276. <https://doi.org/10.1161/CIRCOUTCOMES.115.001767>
543. Elmer J, Callaway CW, Chang CH et al (2019) Long-term outcomes of out-of-hospital cardiac arrest care at regionalized centers. *Ann Emerg Med* 73(1):29–39. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2018.05.018>
544. Elmer J, Rittenberger JC, Coppler PJ et al (2016) Long-term survival benefit from treatment at a specialty center after cardiac arrest. *Resuscitation* 108:48–53. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.09.008>
545. Andrew E, Nehme Z, Wolfe R, Bernard S, Smith K (2017) Long-term survival following out-of-hospital cardiac arrest. *Heart* 103(14):1104–1110. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2016-310485>
546. Mumma BE, Diercks DB, Wilson MD, Holmes JF (2015) Association between treatment at an ST-segment elevation myocardial infarction center and neurologic recovery after out-of-hospital cardiac arrest. *Am Heart J* 170(3):516–523. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2015.05.020>
547. Tranberg T, Lippert FK, Christensen EF et al (2017) Distance to invasive heart centre, performance of acute coronary angiography, and angioplasty and associated outcome in out-of-hospital cardiac arrest: a nationwide study. *Eur Heart J* 38(21):1645–1652. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx104>
548. Cournoyer A, Notebaert E, de Montigny L et al (2018) Impact of the direct transfer to percutaneous coronary intervention-capable hospitals on survival to hospital discharge for patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 125:28–33. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.01.048>
549. Lick CJ, Aufderheide TP, Niskanen RA et al (2011) TakeHeartAmerica: a comprehensive, community-wide, systems-based approach to the treatment of cardiac arrest. *Crit Care Med* 39(1):26–33. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3181fa7ce4>
550. Stub D, Smith K, Bray JE, Bernard S, Duffy SJ, Kaye DM (2011) Hospital characteristics are associated with patient outcomes following out-of-hospital cardiac arrest. *Heart* 97(18):1489–1494. <https://doi.org/10.1136/hrt.2011.226431>
551. Chocron R, Bougouin W, Beganton F et al (2017) Are characteristics of hospitals associated with outcome after cardiac arrest? Insights from the Great Paris registry. *Resuscitation* 118:63–69. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.06.019>
552. Lai CY, Lin FH, Chu H et al (2018) Survival factors of hospitalized out-of-hospital cardiac arrest patients in Taiwan: a retrospective study. *Plos One* 13(2):e0191954. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191954>
553. Soholm H, Wachtell K, Nielsen SL et al (2013) Tertiary centres have improved survival compared to other hospitals in the Copenhagen area after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 84(2):162–167. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.06.029> (Comparative Study)
554. McKenzie N, Williams TA, Ho KM et al (2018) Direct transport to a PCI-capable hospital is associated with improved survival after adult out-of-hospital cardiac arrest of medical aetiology. *Resuscitation* 128:76–82. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.04.039>
555. Brooks SC, Scales DC, Pinto R et al (2016) The postcardiac arrest consult team: impact on hospital care processes for out-of-hospital cardiac arrest patients. *Crit Care Med* 44(11):2037–2044. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000001863>
556. Seiner J, Polasek R, Lejsek J, Strycek M, Karasek J (2018) Cardiac arrest center—one-year experience of the regional hospital Liberec. *Cor Vasa* 60:e234–e238
557. Harnod D, Ma MHM, Chang WH, Chang RE, Chang CH (2013) Mortality factors in out-of-hospital cardiac arrest patients: a nationwide population-based study in Taiwan. *Int J Gerontol* 7:216–220
558. Patterson T, Perkins GD, Joseph J et al (2017) A Randomised Trial of Expedited transfer to a cardiac arrest centre for non-ST elevation ventricular fibrillation out-of-hospital cardiac arrest: the ARREST pilot randomised trial. *Resuscitation* 115:185–191. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.01.020>

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:577–602
<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00886-w>
 Angenommen: 19. April 2021
 Online publiziert: 2. Juni 2021
 © European Resuscitation Council (ERC),
 German Resuscitation Council (GRC), Austrian
 Resuscitation Council (ARC) 2021



David A. Zideman¹ · Eunice M. Singletary² · Vere Borra^{3,4} · Pascal Cassan⁵ ·
 Carmen D. Cimpoesu⁶ · Emmy De Buck^{3,4,7} · Anthony J. Handley⁸ ·
 Barry Klaassen^{9,10} · Daniel Meyran¹¹ · Emily Oliver¹⁰

¹ Thames Valley Air Ambulance, Stokenchurch, Großbritannien

² Department of Emergency Medicine, University of Virginia, Charlottesville, USA

³ Centre for Evidence-based Practice, Belgian Red Cross, Mecheln, Belgien

⁴ Cochrane First Aid, Mecheln, Belgien

⁵ International Federation of Red Cross and Red Crescent, Paris, Frankreich

⁶ Emergency Department and Prehospital EMS SMURD Iasi Emergency County Hospital „Sf. Spiridon“ Iasi,
 University of Medicine and Pharmacy „Grigore T. Popa“, Iasi, Rumänien

⁷ Department of Public Health and Primary Care, Faculty of Medicine, KU Leuven, Löwen, Belgien

⁸ Cambridge, Großbritannien

⁹ Emergency Medicine, Ninewells Hospital and Medical School Dundee, Dundee, Großbritannien

¹⁰ British Red Cross, Berkshire, Großbritannien

¹¹ Bataillon de Marins Pompiers de Marseille, French Red Cross, Marseille, Frankreich

Erste Hilfe

Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Einführung und Geltungsbereich

2015 veröffentlichte der European Resuscitation Council erste Erste-Hilfe-Leitlinien [1], die auf der Grundlage des im selben Jahr veröffentlichten Konsenses des International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) zur wissenschaftlich begründeten Ersten Hilfe mit Behandlungsempfehlungen beruhen [2, 3]. Im gleichen Jahr beschloss das ILCOR, den wissenschaftlichen Evidenzbewertungsprozess nicht mehr in einem Fünfjahreszyklus, sondern kontinuierlich vorzunehmen. Dies spiegelt sich im ILCOR-Konsens 2020 über Wissenschaft mit Behandlungsempfehlungen (CoSTR) wider [4, 5].

Die Leitlinien wurden mit dem generischen Maskulin übersetzt. Bitte beachten Sie, dass alle Personenbezeichnungen gleichermaßen für beide Geschlechter gelten.

Die Übersetzung beruht auf der Version vom 29.01.2021. Bis zur Publikation des englischen Originals in *Resuscitation* wurden in manchen Kapiteln Literaturstellen korrigiert oder andere Änderungen vorgenommen, die den Sinn nicht wesentlich ändern.

Alle 2010 von der American Heart Association und dem Amerikanischen Roten Kreuz untersuchten und geprüften Themen [6] sowie 13 medizinische, 10 Trauma- und ein Bildungsthema, die mittels PICO-Methode (Population = Bevölkerung, Intervention = diagnostisches/therapeutisches Verfahren, Comparison = Vergleich, Outcome = Überleben/Ergebnis) im ILCOR-2015-CoSTR-Review untersucht [2, 3] wurden, wurden 2016 von der ILCOR-Erste-Hilfe-Arbeitsgruppe geprüft. Achtunddreißig PICO-Themen wurden von den Mitgliedern der Arbeitsgruppe zur Bewertung und Einstufung ausgewählt. Die Bewertung orientierte sich daran, ob es neue veröffentlichte Erkenntnisse gab, die die CoSTR von 2015 verändern würden. Die zwanzig am besten bewerteten Themen wurden ausgewählt und von der ILCOR-Gruppe für kontinuierliche Evidenzbewertung (CEE) den konstituierenden ILCOR-Räten zur Ratifizierung vorgelegt und danach zur Kommentierung veröffentlicht. Die Erste-Hilfe-Arbeitsgruppe bewertete dann jedes ausgewählte Thema. Die Arbeitsgruppe wählte Themen aus, bei denen sie glaubte, dass es

neue veröffentlichte wissenschaftliche Erkenntnisse (seit 2015) gab, und reichte diese zur systematischen Überprüfung ein. Für einige Themen wurde die PICO-Frage geändert, um Lücken zu schließen, die durch frühere Überprüfungen festgestellt wurden. Diese wurden ebenfalls zur systematischen Überprüfung eingereicht. Die Themen zur Kontrolle lebensbedrohlicher Blutungen wurden zu einem Mega-PICO-Thema für eine integrierte, systematische Überprüfung zusammengefasst. Wenn die Arbeitsgruppe unsicher war, ob es genügend neue wissenschaftlich veröffentlichte Erkenntnisse gab, wurde der PICO einem Scoping-Überprüfungsprozess unterzogen. Scoping-Überprüfungen basieren auf einer umfassenderen Suchstrategie, die auch graue Literatur einschließt, und liefern eher einen narrativen Bericht ihrer Ergebnisse als die kritische Bewertung einer systematischen Überprüfung. Die daraus resultierenden Manuskripte, sowohl für die systematischen Überprüfungen als auch für die Scoping-Überprüfungen, wurden für eine öffentliche Kommentierung auf der ILCOR-CoSTR-Website sowie in der CoSTR-Zusammenfassung 2020 veröffentlicht



Abb. 1 ▲ Infografik Erste Hilfe

[4, 5]. Einige der systematischen Überprüfungen wurden direkt veröffentlicht, darunter „Sofortmaßnahmen bei Präsynkope“ [7], „Behandlung von Hypoglykämie“ [8], „Frühe versus späte Gabe von Acetylsalicylsäure bei Brustschmerzen nichttraumatischer Genese“ [9], „Kühltechniken bei Hitzschlag und anstrengungsbedingter Hyperthermie“ [10], „Kompressionsverband bei akuten, geschlossenen Gelenksverletzungen“ [11], „Zahnverlust“ [12] und „Erkennen eines Schlaganfalls durch Ersthelfer“ [13].

Die Erste-Hilfe-Autorengruppe des Europäischen Rates für Wiederbelebung hat die veröffentlichten systematischen Überprüfungen und Scoping-Überprüfungen zusammen mit den wissenschaftlichen Konsens- und Behandlungsempfehlungen der ILCOR-Arbeitsgruppe für Erste Hilfe (ILCOR/CoSTR) als Grundlage für diese Erste-Hilfe-Leitlinien verwendet. Die Autorengruppe hat beim Verfassen dieser Leitlinien auch die Evidenz der Entscheidungstabellen, narrativen Übersichten und Diskussionen in der Arbeitsgruppe sorgfältig

geprüft und berücksichtigt. Darüber hinaus berücksichtigte die Autorengruppe fünf zusätzliche Themen, die nicht in den ILCOR-Prozess 2020 aufgenommen wurden, die aber zuvor im ILCOR-Prozess 2015 enthalten waren, für kurze Evidenzbewertungen. Die Autorengruppe hat diese zusätzlichen klinischen Empfehlungen als eine abgestimmte Expertenmeinung mit dem Hinweis „gute klinische Praxis“ gekennzeichnet, um sie von den Leitlinien zu unterscheiden, die auf einem wissenschaftlichen Prozess beruhen.

Insgesamt umfassen diese Richtlinien 20 PICO-Themen, die in elf medizinische und neun Traumanotfälle unterteilt sind.

Medizinische Notfälle

- Stabile Seitenlage
- Optimale Lagerung eines Betroffenen im Kreislaufschock
- Gabe von Bronchodilatoren bei Asthma
- Erkennen eines Schlaganfalls
- Frühe Gabe von Acetylsalicylsäure bei Schmerzen in der Brust
- Anaphylaxie:
 - Zweite Dosis Adrenalin bei Anaphylaxie
 - Erkennen einer Anaphylaxie durch Ersthelfer
- Behandlung einer Unterzuckerung/Hypoglykämie
- Orale Rehydrierungslösungen zur Behandlung von anstrengungsbedingtem Flüssigkeitsmangel
- Behandlung des Hitzschlags durch Kühlung
- Sauerstoffgabe bei akutem Schlaganfall
- Behandlung einer Präsynkope

Traumanotfälle

- Stillung lebensbedrohlicher Blutungen
- Versorgung einer offenen Brustkorbverletzung
- Stabilisierung und Immobilisation der Halswirbelsäule
- Erkennen einer Gehirnerschütterung
- Thermische Verbrennungen:
 - Kühlung von thermischen Verbrennungen

- Verbände bei thermischen Verbrennungen
- Zahnverlust
- Kompressionsverband bei geschlossenen Gelenkverletzungen an Extremitäten
- Reponierung von Frakturen mit Fehlstellung
- Augenverletzungen durch Chemikalieneinwirkung

Definition der Ersten Hilfe

Erste Hilfe ist die Erstversorgung bei akuten Erkrankungen oder Verletzungen. Zu den Zielen der Ersten Hilfe gehören die Erhaltung des Lebens, die Linderung des Leidens, die Verhinderung weiterer Krankheiten oder Verletzungen und die Förderung der Genesung. Erste Hilfe kann von jedem in jeder Situation, einschließlich einer Selbsthilfe, durchgeführt werden. Zu den allgemeinen Erste-Hilfe-Maßnahmen in jeder Ausbildungsstufe gehören:

- Erkennen, Beurteilen und Priorisieren der Notwendigkeit von Erste-Hilfe-Maßnahmen.
- Anwenden der Erste-Hilfe-Maßnahmen entsprechend vorhandenen Kompetenzen unter Berücksichtigung der eigenen Grenzen.
- Anforderung weiterer Hilfe, z. B. Aktivierung des Rettungsdienstsystems oder anderer medizinischer Hilfe, bei Bedarf.

Zu den wichtigsten Prinzipien gehören:

- Erste Hilfe soll medizinisch korrekt sein und auf den besten verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhen.
- Die Erste-Hilfe-Ausbildung soll universell sein: Jeder soll Erste Hilfe lernen.
- Die Hilfsbereitschaft der Menschen soll gefördert werden: Jeder soll handeln.
- Der Umfang der Ersten Hilfe und die Hilfsbereitschaft variiert und kann durch Umwelt-, Ressourcen-, Schulungs- und Regulierungsfaktoren beeinflusst werden.

Diese Leitlinien wurden von den Mitgliedern der Erste-Hilfe-Autorengruppe er-

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:577–602 <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00886-w>
 © European Resuscitation Council (ERC), German Resuscitation Council (GRC), Austrian Resuscitation Council (ARC) 2021

D. A. Zideman · E. M. Singletary · V. Borra · P. Cassan · C. D. Cimpoesu · E. De Buck · A. J. Handley · B. Klaassen · D. Meyran · E. Oliver

Erste Hilfe. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Zusammenfassung

Diese Erste-Hilfe-Leitlinien beruhen auf dem internationalen, wissenschaftlichen Konsens 2020 zur kardiopulmonalen Wiederbelebung mit Behandlungsempfehlungen und wurden vom European Resuscitation Council erstellt. Die Themen umfassen das Erste-Hilfe-Management im Bereich Notfallmedizin und Traumata. Im Themenbereich medizinische Notfälle werden folgende Inhalte behandelt: Seitenlagerung, optimale Lagerung eines Betroffenen im Kreislaufchock, Gabe von Bronchodilatoren bei Asthma, Erkennung eines Schlaganfalls, frühe Gabe von Acetylsalicylsäure bei Brustschmerzen, Zweitgabe von Adrenalin bei Anaphylaxie, Behandlung einer Unterzuckerung/Hypoglykämie, orale Gabe von Rehydrierungslösungen zur Behandlung eines erschöpfungsbedingten Flüssigkeitsmangels, Behandlung eines

Hitzschlags durch Kühlung, Sauerstoffgabe bei akutem Schlaganfall und Benommenheit. Im Themenbereich Trauma werden folgende Themen behandelt: Stillung lebensbedrohlicher Blutungen, Behandlung offener Brustkorbverletzungen, Stabilisierung und Immobilisation der Halswirbelsäule, Erkennung von Gehirnerschütterungen, Kühlung von Verbrennungen, Zahnverlust, Kompressionsverband bei geschlossenen Gelenkverletzungen an Extremitäten, Reponierung von Frakturen mit Fehlstellung sowie Augenverletzungen durch chemische Stoffe.

Schlüsselwörter

Seitenlagerung · Anaphylaxie · Hitzschlag · Immobilisierung der Halswirbelsäule · Zahnverlust

First aid. European Resuscitation Council Guidelines 2021

Abstract

The European Resuscitation Council has produced these first aid guidelines, which are based on the 2020 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations. The topics include the first aid management of emergency medicine and trauma. For medical emergencies the following content is covered: recovery position, optimal positioning for shock, bronchodilator administration for asthma, recognition of stroke, early aspirin for chest pain, second dose of adrenaline for anaphylaxis, management of hypoglycaemia, oral rehydration solutions for treating exertion-related dehydration, management of heat stroke by cooling, supplemental

oxygen in acute stroke, and presyncope. For trauma-related emergencies the following topics are covered: control of life-threatening bleeding, management of open chest wounds, cervical spine motion restriction and stabilisation, recognition of concussion, cooling of thermal burns, dental avulsion, compression wrap for closed extremity joint injuries, straightening an angulated fracture, and eye injury from chemical exposure.

Keywords

Recovery position · Anaphylaxis · Heat stroke · Cervical spine motion restrictions · Dental avulsion

arbeitet und beschlossen. Die für die Leitlinienentwicklung verwendete Methodik ist in der Zusammenfassung dargestellt [14]. Die Leitlinien wurden im Oktober 2020 zur allgemeinen Kommentierung veröffentlicht. Das Feedback wurde von der Arbeitsgruppe erörtert und die Leitlinien wurden gegebenenfalls aktualisiert. Die Leitlinien wurden der ERC-Generalversammlung am 10. Dezember 2020 vorgelegt und von dieser genehmigt.

Die Kernaussagen des Kapitels sind in **Abb. 1** zusammengefasst.

Kurzleitlinien für die klinische Praxis

Stabile Seitenlagerung

Der ERC empfiehlt, Erwachsene und Kinder mit einer verminderten Reaktionsfähigkeit aufgrund einer medizi-



Abb. 2 ◀ Stabile Seitenlagerung

nischen Erkrankung oder eines nicht-physischen Traumas, die die Kriterien für die Einleitung einer Atemspende oder einer Thoraxkompression (CPR) NICHT erfüllen, in die stabile Seitenlage zu bringen (▣ Abb. 2). Insgesamt gibt es wenig Evidenz zur Empfehlung einer optimalen Seitenlage. Der ERC empfiehlt folgenden Ablauf:

- Knien Sie seitlich neben dem Betroffenen und vergewissern Sie sich, dass seine Beine gerade ausgestreckt sind.
- Legen Sie den Ihnen zugewandten Arm rechtwinklig zum Körper mit der Handfläche nach oben.
- Führen Sie den anderen Arm über die Brust und halten Sie den Handrücken gegen die Ihnen zugewandte Wange des Betroffenen.
- Greifen Sie mit der anderen Hand das gegenüberliegende Bein knapp über dem Knie und ziehen Sie es nach oben, wobei der Fuß auf dem Boden bleibt.
- Während Sie die Hand des Betroffenen weiterhin gegen die Wange drücken, ziehen Sie am entfernt liegenden Bein, um den Betroffenen auf die Seite zu drehen.
- Richten Sie das oben liegende Bein so aus, dass Hüfte und Knie jeweils rechtwinklig gebogen sind.
- Neigen Sie den Kopf nach hinten, um sicherzustellen, dass die Atemwege offen bleiben.
- Korrigieren Sie die Hand unter der Wange, wenn nötig, sodass der Hals überstreckt bleibt und das Gesicht nach unten zeigt, um den Abfluss

von Flüssigkeiten aus dem Mund zu ermöglichen.

- Überprüfen Sie regelmäßig, ob eine normale Atmung vorhanden ist.
- Lassen Sie den Betroffenen nur dann unbeaufsichtigt, wenn dies unbedingt erforderlich ist, z. B. um sich um andere Betroffene zu kümmern.

Es ist äußerst wichtig, und soll hier nochmals betont werden, dass Personen in stabiler Seitenlage liegend bis zum Eintreffen des Rettungsdiensts ständig überwacht werden müssen, damit sichergestellt ist, dass sie weiterhin normal atmen. Unter bestimmten Bedingungen kann es nicht angezeigt sein, den Betroffenen in eine Seitenlage zu bringen, z. B. durch einen Kreislaufstillstand bedingte Schnappatmung oder in Traumasituationen.

Optimale Lagerung eines Patienten im Kreislaufschock

- Legen Sie Personen mit Schock auf den Rücken (Rückenlage).
- Wenn keine Verletzungsanzeichen vorliegen, können Ersthelfer bis zum Eintreffen des Rettungsdiensts in Betracht ziehen, die Beine des Betroffenen anzuheben (passives Anheben).

Gabe von Bronchodilatoren bei Asthma

- Unterstützen Sie Asthmatiker mit akuten Atemproblemen bei der Ein-

nahme ihrer bronchienerweiternden Therapie.

- Jeder Ersthelfer muss mit deren verschiedenen Anwendungsmethoden vertraut sein.

Erkennen eines Schlaganfalls

- Verwenden Sie eine Bewertungsskala für Schlaganfälle, um die Zeit bis zur Erkennung und endgültigen Behandlung für Personen mit Verdacht auf akuten Schlaganfall zu verkürzen.
- Die folgenden Schlaganfallbewertungsskalen sind verfügbar:
 - „Face“ (Gesicht), „arm“ (Arme), „speech“ (Sprache), „time to call“ (Zeit bis Notruf) (FAST).
 - Melbourne Ambulance Stroke Scale (MASS).
 - Cincinnati Prehospital Stroke Scale (CPSS).
 - Die Los Angeles Prehospital Stroke Scale (LAPSS) ist die Skala, die am häufigsten verwendet wird.
- Die MASS- und LAPSS-Skalen können durch Blutzuckermessung erweitert werden.

Frühe Gabe von Acetylsalicylsäure gegen Brustschmerzen

Bei bewusstseinsklaren Erwachsenen mit nicht-traumatischen Brustschmerzen aufgrund eines vermuteten Myokardinfarkts:

- Beruhigen Sie den Betroffenen.
- Bringen Sie den Betroffenen in eine für ihn bequeme Lage (Sitzen oder Liegen).
- Notruf.
- Ersthelfer sollen den Betroffenen, nach Einsetzen der Brustschmerzen, so bald wie möglich zur Selbstverabreichung von frei erhältlicher, kaubarer 150–300 mg Acetylsalicylsäure auffordern und ihn bei der Einnahme unterstützen.
- Geben Sie Erwachsenen mit Brustschmerzen keine Acetylsalicylsäure, wenn die Ursache der Beschwerden unklar oder traumatisch bedingt ist.
- Es besteht ein relativ geringes Risiko für Komplikationen. Selten können insbesondere Anaphylaxie und schwere Blutungen auftreten. Verab-

reichen Sie Erwachsenen mit einer bekannten Allergie gegen Acetylsalicylsäure oder anderen Kontraindikationen, wie schwerem Asthma oder bekannten Magen-Darm-Blutungen, keine Acetylsalicylsäure.

Anaphylaxie

Das Management der Anaphylaxie wurde im Kapitel „Besondere Umstände“ bereits beschrieben [15].

- Wenn die Symptome der Anaphylaxie innerhalb von fünf Minuten nach der ersten Injektion nicht abgeklungen sind oder wenn die Symptome nach der ersten Dosis wieder auftreten, verabreichen Sie eine zweite Dosis Adrenalin durch intramuskuläre Injektion mit einem Autoinjektor [16].
- Notruf.
- Schulen Sie regelmäßig die Ersthelfer in der Erkennung und Behandlung einer Anaphylaxie.

Behandlung einer Unterzuckerung/Hypoglykämie

- Die Anzeichen einer Unterzuckerung/Hypoglykämie sind plötzliche Bewusstseinsstörungen: Schwindel, Ohnmacht, manchmal Nervosität und ungewöhnliches Verhalten (Stimmungsschwankungen, Aggression, Verwirrung, Konzentrationsverlust, Anzeichen, die wie Trunkenheit aussehen) bis hin zu Bewusstlosigkeit.
- Eine Person mit leichter Hypoglykämie hat typischerweise weniger schwere Anzeichen oder Symptome und ist noch in der Lage, schlucken zu können und Aufforderung zu befolgen.
- Bei Personen, die Anzeichen oder Symptome einer leichten Unterzuckerung/Hypoglykämie aufweisen und die bei Bewusstsein sind und schlucken können:
 - Verabreichen Sie oral Traubenzuckertabletten (15–20 g).
 - Wenn keine Traubenzuckertabletten verfügbar sind, verabreichen Sie Zucker in einer äquivalenten Menge in anderer Darreichungsform

wie Süßigkeiten, Zuckerwürfel, Geleebonbons oder eine halbe Dose Orangensaft.

- Wiederholen Sie die Gabe von Zucker, wenn die Symptome immer noch vorhanden sind und sich nach 15 min nicht bessern.
- Wenn kein Traubenzucker verfügbar ist, kann ein Glukosegel (teilweise in der Wange gehalten und teilweise geschluckt) verabreicht werden.
- Alarmieren Sie den Rettungsdienst/Notarzt, wenn:
 - a. Der Betroffene bewusstlos ist oder wird.
 - b. Der Zustand des Betroffenen sich nicht bessert.
- Nachdem sich der Zustand des Betroffenen durch Gabe von Zucker verbessert hat, soll dieser einen leichten Snack, wie ein Sandwich oder eine Waffel, zu sich nehmen.
- Bei Kindern, die möglicherweise Traubenzucker nicht oral einnehmen möchten:
 - Erwägen Sie, einen halben Teelöffel Haushaltszucker (2,5 g) unter die Zunge des Kindes zu geben.
- Messen und notieren Sie den Blutzuckerwert vor und nach der Behandlung, wenn möglich.

Orale Rehydrierungslösungen zur Behandlung von erschöpfungsbedingtem Flüssigkeitsmangel

- Verabreichen Sie einer Person, die während einer sportlichen Leistung übermäßig geschwitzt hat und Anzeichen von Flüssigkeitsmangel aufweist, wie z. B. Durst, Schwindel, Benommenheit, Mundtrockenheit oder dunkelgelben und/oder stark riechenden Urin, Rehydrierungslösungen mit 3–8 % Kohlenhydrat-Elektrolyt-Anteilen (CE) (typische Sportgetränke) oder Magermilch.
- Wenn 3–8 % CE-Getränke oder Milch nicht verfügbar sind oder nicht gut vertragen werden, können alternative Getränke zur Rehydrierung (0–3 % CE-Getränke, 8–12 % CE-Getränke oder Wasser) gegeben werden.

- Sauberes Wasser in normaler Menge ist eine akzeptable Alternative. Die Dauer zur Rehydrierung ist jedoch möglicherweise verlängert.
- Vermeiden Sie den Gebrauch von alkoholischen Getränken.
- Alarmieren Sie den Rettungsdienst/Notarzt, wenn:
 - Die Person bewusstlos ist oder wird.
 - Die Person Anzeichen eines Hitzschlags zeigt.

Behandlung des Hitzschlags durch Kühlung

Erkennen der Symptome und Anzeichen eines Hitzschlags (bei hoher Umgebungstemperatur):

- Erhöhte Temperatur
- Verwirrtheit
- Erregung
- Desorientierung
- Krampfanfall
- Koma

Bei Verdacht auf einen durch Anstrengung verursachten oder klassischen Hitzschlag:

- Bringen Sie den Betroffenen aus der heißen Umgebung und beginnen Sie mit der passiven Kühlung.
- Beginnen Sie mit der zusätzlichen Kühlung mit jeder sofort verfügbaren Technik.
 - Tauchen Sie den ganzen Körper (vom Hals abwärts) in kaltes Wasser, wenn die Körperkerntemperatur über 40 °C liegt (1–26 °C). Führen Sie die Maßnahme so lange fort, bis die Kerntemperatur unter 39 °C fällt.
 - Verwenden Sie alternative Kühlmethoden, wie Eisdecken, handelsübliche Eisbeutel, Ventilator, kalte Dusche, Handkühlgeräte, Kühlwesten und -jacken oder Verdunstungskühlung (Benetzung und Lüftereinsatz), wenn eine Kühlung durch Eintauchen in Wasser nicht möglich ist.
- Messen Sie nach Möglichkeit die Körperkerntemperatur des Betroffenen (Rektaltemperaturmessung). Möglicherweise ist hierfür eine spezielle Schulung erforderlich.

- Betroffene mit durch Belastung bedingter Hyperthermie oder mit Hitzschlag bedürfen einer weiterführenden medizinischen Behandlung, für die der Ersthelfer sorgen soll.

Es ist bekannt, dass das Erkennen und die Behandlung von Betroffenen mit Hitzschlag ein spezielles Training erfordert (Rektaltemperaturmessung, Eintauchen in kaltes Wasser). Das Erkennen der Anzeichen und Symptome einer erhöhten Körperkerntemperatur und der Einsatz aktiver Kühltechniken ist jedoch entscheidend, um Morbidität und Mortalität zu vermindern.

Verwendung von Sauerstoff bei akutem Schlaganfall

- Grundsätzlich dürfen Ersthelfer bei Verdacht auf einen akuten Schlaganfall keinen Sauerstoff verabreichen.
- Sauerstoff soll verabreicht werden, wenn die Person Anzeichen einer Hypoxie zeigt.
- Für Ersthelfer sind Schulungen zur Gabe von Sauerstoff erforderlich.

Behandlung einer Präsynkope

- Präsynkopen sind gekennzeichnet durch Benommenheit, Übelkeit, Schwitzen, Schwarzwerden vor Augen und ein beginnendes Gefühl des Bewusstseinsverlusts.
- Stellen Sie sicher, dass der Betroffene sicher ist und nicht fällt oder sich verletzt, wenn er das Bewusstsein verliert.
- Verwenden Sie einfache physikalische Druckmaßnahmen, um Präsynkopen vasovagalen oder orthostatischen Ursprungs zu unterbrechen.
- Druckmaßnahmen im Unterkörper sind effektiver als solche im Oberkörper.
- Unterkörper – Hocken mit oder ohne Beinkreuzung
- Oberkörper – Handballenpressen, Nackenbeugung
- Ersthelfer müssen darin geschult werden, Betroffene in der Durchführung von Maßnahmen mit physischem Gegendruck anzuleiten.

Stillung lebensbedrohlicher Blutungen

Direkter Druck, blutstillende Verbände, Druckpunkte und Kältebehandlung (Kryotherapie) bei lebensbedrohlichen Blutungen

- Üben Sie direkten manuellen Druck aus, um unverzüglich schwere, lebensbedrohliche äußere Blutungen zu stoppen.
- Erwägen Sie die Verwendung eines blutstillenden Verbands, wenn Sie bei schweren, lebensbedrohlichen Blutungen direkten manuellen Druck ausüben. Bringen Sie den blutstillenden Verband direkt auf die blutende Verletzung und üben Sie dann direkten manuellen Druck auf den Verband aus.
- Ein Druckverband kann nützlich sein, um die Blutstillung aufrechtzuerhalten, wenn die Blutung unter Kontrolle ist, soll aber nicht anstelle eines direkten manuellen Drucks für unkontrollierte Blutungen verwendet werden.
- Die Verwendung von Druckpunkten oder Kältetherapie wird zur Stillung lebensbedrohlicher Blutungen nicht empfohlen.

Tourniquets bei lebensbedrohlichen Blutungen

- Bei lebensbedrohlichen Blutungen aus Wunden an Extremitäten, an Stellen, an denen ein Tourniquet verwendet werden kann (d. h. Arm- oder Beinwunden, traumatische Amputationen):
 - Erwägen Sie die Anwendung eines handelsüblichen Tourniquets so bald wie möglich:
 - a. Legen Sie das Tourniquet um die verletzte Extremität, 5–7 cm über der Wunde, jedoch nicht über ein Gelenk.
 - b. Ziehen Sie das Tourniquet fest, bis die Blutung schwächer wird und gestoppt ist. Dies kann für den Betroffenen äußerst schmerzhaft sein.
 - c. Halten Sie den Tourniquet-Druck aufrecht.
 - d. Notieren Sie die Zeit, zu der das Tourniquet angelegt wurde.

e. Entfernen Sie nicht das einmal angelegte Tourniquet – das Tourniquet darf nur von medizinischem Fachpersonal entfernt werden.
 f. Bringen Sie den Betroffenen sofort zur weiteren medizinischen Versorgung in ein Krankenhaus.
 g. In einigen Fällen kann es erforderlich sein, zwei Tourniquets parallel anzuwenden, um die Blutung zu verlangsamen oder zu stoppen.

- Wenn ein handelsübliches Tourniquet nicht sofort verfügbar ist oder wenn die Blutung bei Verwendung eines handelsüblichen Tourniquets nicht kontrolliert werden kann, üben Sie direkten manuellen Druck mit einer behandschuhten Hand, einem Mullverband oder, falls verfügbar, einem blutstillenden Verband aus.
- Ziehen Sie die Verwendung eines improvisierten Tourniquets nur dann in Betracht, wenn ein handelsübliches Tourniquet nicht verfügbar ist, der direkte manuelle Druck (behandschuhte Hand, Mullverband oder blutstillender Verband) lebensbedrohliche Blutungen nicht kontrolliert und der Ersthelfer in der Herstellung und Anwendung improvisierter Tourniquets geschult ist.

Behandlung offener Brustkorbverletzungen

- Bedecken Sie eine offene Brustkorbverletzung nicht, damit diese offen zur Umgebung bleibt.
- Legen Sie keinen Verband an oder bedecken Sie die Wunde nicht.
- Im Bedarfsfall:
 - Stoppen Sie punktuelle Blutungen durch direkten Druck auf die Wunde
 - Legen Sie einen speziellen, nicht luftdichten oder Ventilverband an, um einen freien Gasaustritt während des Ausatmens zu gewährleisten (Schulung erforderlich).

Stabilisierung und Immobilisation der Halswirbelsäule

- Das routinemäßige Anlegen einer Halskrause durch Ersthelfer wird nicht empfohlen.
- Bei Verdacht auf eine Verletzung der Halswirbelsäule:
 - Fordern Sie den Betroffenen auf, seinen Hals in einer stabilen Position zu halten, wenn er wach und kooperativ ist.
 - Wenn der Betroffene bewusstlos oder nicht kooperativ ist, sollen Sie den Hals mithilfe manueller Stabilisierungstechniken immobilisieren.
 - a. „Head squeeze“/Kopfklemme:
 - i. Halten Sie den Kopf des Betroffenen in Rückenlage zwischen Ihren Händen.
 - ii. Positionieren Sie Ihre Hände so, dass sich die Daumen über den Ohren des Betroffenen und die anderen Finger unter dem Ohr befinden.
 - iii. Achten Sie darauf, dass Ihre Finger die Ohren des Betroffenen nicht bedecken, sodass dieser sie hören kann.
 - b. „Trapezium squeeze“/Trapezmuskelklemme:
 - i. Halten Sie bei dem in Rückenlage befindlichen Betroffenen mit den Händen die Trapezmuskeln auf beiden Seiten des Kopfes (Daumen vor dem Trapezmuskel). Einfach ausgedrückt: Halten Sie die Schultern des Betroffenen mit den Händen, Daumen nach oben.
 - ii. Drücken Sie den Kopf fest zwischen die Unterarme, wobei sich die Unterarme ungefähr in Höhe der Ohren befinden.

Erkennung einer Gehirnerschütterung

- Obwohl ein einfaches einstufiges Bewertungssystem für Gehirnerschütterungen das Erkennen und Bewerten von Betroffenen mit Verdacht auf Kopfverletzung durch Ersthelfer erheblich erleichtern würde, gibt es gegenwärtig kein solches validiertes System.
- Eine Person mit Verdacht auf Gehirnerschütterung muss von medi-

zinischem Fachpersonal untersucht werden.

Thermische Verbrennungen

Nach einer thermischen Verbrennungsverletzung:

- Kühlen Sie Verbrennungen sofort mit kühlem oder kaltem (nicht eiskaltem) Wasser.
- Kühlen Sie die Verbrennung für mindestens 20 min.
- Bedecken Sie die Wunde mit einem lockeren sterilen Verband oder verwenden Sie Frischhaltefolie. Wunde nicht zirkulär umwickeln.
- Suchen Sie sofort einen Arzt auf.

Besondere Vorsicht ist beim Kühlen großer Verbrennungen oder bei Verbrennungen bei Säuglingen und Kleinkindern geboten, um keine Unterkühlung auszulösen.

Zahnverlust

- Wenn der Betroffene aus dem Zahnfleisch blutet:
 - Ziehen Sie Einweghandschuhe an, bevor Sie dem Betroffenen helfen.
 - Spülen Sie den Mund des Patienten mit kaltem, sauberem Wasser aus.
 - Stoppen Sie Blutungen durch:
 - a. Anpressen einer feuchten Kompresse an das offene Zahnfleisch.
 - b. Sagen Sie dem Betroffenen, dass er auf die feuchte Kompresse beißen soll.
 - c. Tun Sie dies nicht, wenn eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass die verletzte Person die Kompresse verschlucken könnte (z. B. ein kleines Kind, eine aufgeregte Person oder eine Person mit Bewusstseinsstörungen).
- Wenn es nicht möglich ist, den ausgefallenen Zahn am Unfallort sofort zu replantieren:
 - Bitten Sie einen Spezialisten um Hilfe.
 - a. Bringen Sie den Betroffenen und den ausgefallenen Zahn zu einem Zahnarzt.
 - Berühren Sie den Zahn nur an der Krone. Berühren Sie nicht die Wurzel.

- Spülen Sie einen sichtbar kontaminierten Zahn vor dem Transport maximal 10 s lang mit Kochsalzlösung oder unter fließendem Leitungswasser.
- So transportieren Sie den Zahn:
 - a. Wickeln Sie den Zahn in Frischhaltefolie oder lagern Sie ihn vorübergehend in einem kleinen Behälter mit Hanks' Balanced-Salt-Lösung (HBSS), Propolis oder ORS-Lösung („oral rehydration salt“).
 - b. Wenn keines der oben genannten Produkte verfügbar ist, lagern Sie den Zahn in Kuhmilch (jede beliebige Form oder Fettanteil).
 - c. Vermeiden Sie die Verwendung von Leitungswasser, Buttermilch oder Kochsalzlösung (Natriumchlorid).

Kompressionsverband bei geschlossenen Gelenkverletzungen an Extremitäten

- Wenn der Betroffene Schmerzen im Gelenk hat und das betroffene Gelenk nur schwer bewegen kann, bitten Sie ihn, die Extremität nicht zu bewegen. Es ist möglich, dass eine Schwellung oder ein Bluterguss am verletzten Gelenk vorliegt.
- Es gibt keine Evidenz dafür, dass die Anwendung eines Kompressionsverbands bei Gelenkverletzungen hilfreich oder nicht hilfreich ist.
- Das korrekte und effektive Anlegen eines Kompressionsverbands bei einer Gelenkverletzung muss trainiert werden.

Reposition einer Fraktur mit Fehlstellung

- Reponieren Sie nicht die Fehlstellungen eines Bruchs der langen Röhrenknochen.
- Schützen Sie die verletzte Extremität durch eine Ruhigstellung der Fraktur.
- Eine Reposition von Knochenbrüchen soll nur von Helfern durchgeführt werden, die speziell in diesen Techniken ausgebildet sind.

Augenverletzung durch chemische Einwirkung

Bei einer Augenverletzung durch Einwirkung einer chemischen Substanz:

- Spülen Sie das kontaminierte Auge sofort und kontinuierlich mit viel sauberem Wasser oder normaler Kochsalzlösung für 10 bis 20 min.
- Achten Sie darauf, das nicht betroffene Auge nicht zu kontaminieren.
- Lassen Sie den Betroffenen zur Kontrolle zu einem Augenarzt bringen.
- Es ist ratsam, bei der Behandlung von Augenverletzungen mit unbekanntem chemischen Substanzen Handschuhe zu tragen und diese nach Abschluss der Behandlung sorgfältig zu entsorgen.

Evidenz, die die Leitlinien prägt

Stabile Seitenlage

Der ILCOR CoSTR von 2015 empfiehlt, dass Ersthelfer Personen, die nicht ansprechbar sind und normal atmen, in eine Seitenlage (seitlich liegend) bringen sollen, anstatt sie in Rückenlage zu belassen (schwache Empfehlung, Evidenz von sehr geringer Qualität). Es gibt kaum Evidenz zur Empfehlung einer optimalen Seitenlage [2, 3]. Seit dieser Überprüfung gab es eine Reihe von Veröffentlichungen, die aufzeigten, dass mit Wiederbelebnungsmaßnahmen verzögert begonnen wurde, wenn der Betroffene in die Seitenlage gebracht wurde [17–19]. Im Jahr 2019 erweiterte das ILCOR die zu prüfende Population auf Erwachsene und Kinder mit vermindertem Bewusstsein aufgrund einer medizinischen Erkrankung oder eines nichtphysischen Traumas, die die Kriterien für die Einleitung von Rettungsatmung oder Brustkompressionen nicht erfüllen (CPR), und führte eine Scoping-Überprüfung durch. Das Ergebnis dieser Scoping-Überprüfung für diese modifizierte Frage erbrachte keine Änderung gegenüber der Behandlungsempfehlung oder -leitlinie von 2015.

Die anschließende 2020 durchgeführte Scoping-Überprüfung [4, 5] mit dieser modifizierten Population identifizierte über 4000 Quellen, von denen 34 für

die Überprüfung ausgewählt wurden. Alle Studien wurden als von geringer oder sehr geringer Evidenz eingestuft, wobei die meisten an bewusstseinsklaren, gesunden Freiwilligen durchgeführt wurden und sich auf Komfort und Durchblutung des untenliegenden Arms bezogen. Mehrere Studien bezogen sich auf Patienten mit einer verminderten Bewusstseinslage aufgrund medizinischer Ursachen oder Behandlung [20–25]. Es wurde über positive Ergebnisse berichtet, wie die Aufrechterhaltung eines freien Atemwegs bei Kindern und eine verringerte Krankenhausaufenthaltsrate, die zeigen, dass eine Seitenlagerung bei Betroffenen mit einem verringerten Bewusstseinsgrad hilfreich sein kann. In einer einzigen Beobachtungsstudie wurde jedoch die halb liegende Position gegenüber der lateralen Position bei einer Überdosierung mit Opioiden als vorteilhaft bewertet [26].

Der übrigen Studien betrafen gesunde Probanden mit normalem Bewusstseinszustand, Patienten mit obstruktiver Schlafapnoe oder schlafgestörter Atmung oder Leichen mit chirurgisch induzierten Verletzungen der Halswirbelsäule.

Die Diskussionen in der Erste-Hilfe-Arbeitsgruppe spiegelten das Fehlen einer Evidenz für eine bestimmte Seitenlage wider. Die Gruppe empfahl, die Behandlungsempfehlung von 2015 aufrechtzuerhalten, aber wie folgt zu ändern:

„Für Erwachsene und Kinder mit verminderter Reaktionsfähigkeit aufgrund einer medizinischen Erkrankung oder eines nicht-physischen Traumas, die die Kriterien für die Einleitung von Reanimationsmaßnahmen (CPR) nicht erfüllen, empfiehlt der ERC, die Person in eine seitliche stabile Position zu bringen, anstatt sie in der Rückenlage zu belassen.“

Bei einer Person, die sich in Seitenlage befindet, sollen ständig Bewusstsein, Atemwege und Atmung kontrolliert werden. Wenn sich eine dieser Bedingungen verschlechtert, soll die Person in die Rückenlage gebracht und, falls erforderlich, Reanimationsmaßnahmen eingeleitet werden.

Die ILCOR-Arbeitsgruppe für Erste-Hilfe empfahl, eine weitere systematische

Überprüfung zu diesem Thema durchzuführen.

Optimale Lagerung eines Patienten im Kreislaufchock

Als Kreislaufchock bezeichnet man einen Zustand, bei dem es zu einem Versagen der peripheren Durchblutung kommt. Er kann durch einen plötzlichen Verlust von Körperflüssigkeiten (wie z. B. durch eine Blutung), schwere Verletzungen, einen Myokardinfarkt (Herzinfarkt), eine Lungenembolie und andere ähnliche Zustände ausgelöst werden.

Dieses Thema wurde im ILCOR CoSTR [2, 3] 2015 und in den ERC-Leitlinien 2015 bewertet [1]. Es wurde 2020 nicht offiziell überprüft, sondern einer Evidenzaktualisierung unterzogen [4, 5].

Während die primäre Behandlung in der Regel auf die Ursache des Schocks gerichtet ist, ist die Unterstützung des Kreislaufs wichtig. Es gibt klinische Hinweise, dass eine Rückenlage die Vitalzeichen und die kardiale Pumpfunktion einer Person im Schock verbessert, anstatt sie in eine andere Position zu bringen. Allerdings ist die Evidenz für dieses Vorgehen gering.

Das passive Anheben der Beine („passive leg raising“, PLR) kann eine vorübergehende (<7 min) Verbesserung der Herzfrequenz, des mittleren arteriellen Drucks, des kardialen Index oder des Schlagvolumens [27–29] bei Personen ohne Anzeichen eines Traumas bewirken. Eine 2018 veröffentlichte Studie berichtete jedoch über Nebenwirkungen aufgrund des passiven Anhebens der Beine [30]. Die klinische Bedeutung dieser vorübergehenden Verbesserung ist unklar. Der optimale Höhengrad wurde nicht bestimmt, wobei in diesen Studien die Beine zwischen 30 und 60 Grad angehoben wurden. Da eine Besserung des Zustands des Patienten durch passives Anheben seiner Beine kurz und ihre klinische Bedeutung ungewiss ist, wird sie nicht als Routineverfahren empfohlen, obwohl sie in einigen Erste-Hilfe-Situationen angemessen sein könnte.

In diesen Empfehlungen wird der potenzielle, aber unsichere klinische Nut-

zen einer Verbesserung der Vitalfunktion durch die Lagerung eines Betroffenen mit Schock in Rückenlage (mit oder ohne Anheben seiner Beine) höher bewertet als das Risiko einer Bewegung des Betroffenen.

Gabe von Bronchodilatoren bei Asthma

Dieser CoSTR wurde 2020 vom ILCOR nicht erneut untersucht. Im CoSTR 2015 wurde empfohlen, dass geschulte Ersthelfer Asthmatiker mit akuten Atemproblemen bei der Anwendung eines Bronchodilatators unterstützen sollen (schwache Empfehlung, Evidenz von sehr geringer Qualität) [2, 3]. Diese Empfehlung beruht auf 8 doppelblinden, randomisierten, kontrollierten Studien (RCT) [31–38], 2 Beobachtungsstudien [39, 40] und 1 Metaanalyse [41]. Keine dieser Studien untersuchte die Verabreichung von Bronchodilatoren durch Ersthelfer. Zwei RCT zeigten nach Verabreichung eines schnell wirkenden Beta-2-Agonisten [31, 32] eine schnellere Rückkehr zu den Ausgangswerten, wobei nur drei Studien über Komplikationen berichteten [31, 33, 34]. Die verbleibenden Studien berichteten über eine Verbesserung der spezifischen therapeutischen Endpunkte des forcierten expiratorischen Volumens in 1 s (FEV1) [33–38] und der maximalen expiratorischen Flussrate (PEFR) [39, 40].

Die Erste-Hilfe-Leitlinie 2015 bleibt unverändert.

Erkennen eines Schlaganfalls

Schlaganfall ist weltweit eine der häufigsten Ursachen für Tod und Behinderung [42]. In den letzten 20 Jahren hat sich gezeigt, dass neue Behandlungen wie die schnelle Verabreichung von Thrombolytika oder endovaskuläre Reperfusionstechniken bei ischämischem Schlaganfall und die medizinische oder chirurgische Behandlung bei hämorrhagischem Schlaganfall die Ergebnisse signifikant verbessern [43–45]. Eine frühere Erkennung eines Schlaganfalls mit kurzer präklinischer Behandlung und Vorabinformation des Krankenhauses sind entschei-

dend für eine erfolgreiche Behandlung [46–48].

In den letzten Jahren basieren Schlaganfallerkennungskampagnen für Laien und Ersthelfer oder Notfallsanitäter in Ausbildung auf der Verwendung von Schlaganfallskalern zur Erleichterung der Schlaganfallerkennung. Es wurden mehrere Skalen zum Erkennen eines Schlaganfalls vorgeschlagen. Ein ideales Schlaganfallerkennungssystem für den Einsatz in der Ersten Hilfe muss leicht zu verstehen, zu erlernen und zu merken sein, eine hohe Sensitivität aufweisen und schnell durchzuführen sein.

Die systematische Überprüfung der ILCOR Arbeitsgruppe für Erste-Hilfe von 2015 [2, 3] wurde Ende 2019 wiederholt. Vier eingeschlossene Studien, die im Anschluss an den Erste-Hilfe-CoSTR 2015 veröffentlicht wurden, zeigten, dass durch das schnelle Erkennen eines Schlaganfalls durch Ersthelfer die Zeit bis zum Beginn der Behandlung verkürzt werden kann [49–52]. Die Anwendung einer Schlaganfall-Erkennungsskala im präklinischen Umfeld erhöhte die Anzahl der Patienten mit bestätigter Schlaganfalldiagnose, die umgehend ins Krankenhaus eingeliefert wurden und damit rasch behandelt werden konnten [49, 51–54]. Ersthelfer sollen Schlaganfall-Erkennungsskalen mit höchster Sensitivität und geringster Anzahl falsch-negativer Ergebnisse verwenden. FAST, CPSS, LAPSS und MASS werden häufig im präklinischen Umfeld eingesetzt (starke Empfehlung, sehr geringe Evidenzqualität).

In vielen präklinischen Studien wurden die Schlaganfalluntersuchungen von Notfallsanitätern oder Krankenschwestern durchgeführt [4, 5, 54], sodass diese Leitlinie auf der Extrapolation des potenziellen Nutzens basiert, wenn derartige Instrumente von Laien oder Ersthelfern verwendet werden.

Die Spezifität der Schlaganfallerkennung kann durch die Verwendung einer Schlaganfall-Erkennungsskala erhöht werden, wenn diese eine Blutzuckermessung beinhaltet, z. B. LAPSS [55–59] oder MASS [56, 57, 60] (schwache Empfehlung, Evidenz geringer Sicherheit). Es wird jedoch anerkannt, dass nicht alle Ersthelfer Zugang zu einem kalibrierten

Blutzuckermessgerät haben oder über die Fähigkeiten oder die Befugnis verfügen, ein solches zu verwenden. Für Ersthelfer erfordert die Beurteilung mit einer Schlaganfall-Erkennungsskala, die die Blutzuckermessung umfasst, eine zusätzliche Schulung und die Anschaffung kostspieliger Messgeräte.

Frühe Gabe von Acetylsalicylsäure bei Brustschmerzen

Die Pathogenese des akuten Koronarsyndroms (ACS) einschließlich des akuten Myokardinfarkts (AMI) ist am häufigsten eine Plaqueruptur in einer Koronararterie. Wenn der Plaque-Inhalt in die Arterie eindringt, kommt es lokal zur Thrombozytenaggregation mit dem Effekt einer partiellen oder kompletten Verlegung des arteriellen Gefäßlumens, was zu einer Myokardischämie und möglicherweise zu einem Infarkt führt. Zu den Symptomen eines AMI gehören Schmerzen in der Brust, die häufig als Druck beschrieben werden, mit/ohne Schmerzstrahlung in den Hals, Unterkiefer oder den linken Arm. Manche Menschen, insbesondere Frauen, haben jedoch weniger typische Symptome wie Atemnot, Übelkeit/Erbrechen, Müdigkeit oder Herzklopfen.

Der CoSTR 2015 empfahl die Verabreichung von Acetylsalicylsäure bei Erwachsenen mit Brustschmerzen aufgrund eines Verdachts auf Myokardinfarkt [2, 3]. Diese Empfehlung basiert auf den Erkenntnissen aus vier Studien [61–64]. Ein zweiter CoSTR von 2015 empfahl die frühzeitige Verabreichung von Acetylsalicylsäure (d. h. präklinisch oder in den ersten Stunden nach Auftreten der Symptome) statt spät (im Krankenhaus) [2, 3].

Im Jahr 2020 bewertete die Erste-Hilfe-Arbeitsgruppe die Frage der frühen oder späten Verabreichung von Acetylsalicylsäure bei Brustschmerzen, die nicht traumabedingt sind, neu. Es wurden zwei weitere Beobachtungsstudien identifiziert [65, 66], in denen die frühe und späte Gabe von Acetylsalicylsäure im präklinischen Umfeld verglichen wurde. Beide Studien berichteten über eine Verbesserung des Überlebens nach 7 Tagen und nach 30 Tagen, obwohl die

Acetylsalicylsäuredosis zwischen den Studien variierte. Eine Studie berichtete über ein verbessertes Überleben nach einem Jahr im Zusammenhang mit der frühen Gabe von Acetylsalicylsäure [65]. In beiden Studien fanden sich keine Hinweise hinsichtlich einer Zunahme von Komplikationen durch die frühe Verabreichung. Interessanterweise berichtete eine Studie [66] über eine geringere Inzidenz des Auftretens von Asystolie und der Notwendigkeit einer Reanimation bei frühzeitiger Verabreichung, während die zweite Studie [65] über eine höhere Inzidenz von Kammerflimmern und ventrikulärer Tachykardie berichtete. Die klinische Bedeutung dieser Ereignisse ist jedoch unklar.

Die Gabe einer einzelnen, niedrigen Dosis von Acetylsalicylsäure als Antithrombotikum zur potenziellen Senkung der Mortalität bei ACS/AMI wird als vorteilhaft angesehen, auch im Vergleich zum geringen Risiko von Komplikationen, insbesondere Anaphylaxie und schweren Blutungen [63, 64, 67, 68].

Anaphylaxie

Im ILCOR CoSTR 2015 schlug die Arbeitsgruppe vor, Personen mit schwerer Anaphylaxie, deren Symptome nicht durch eine Initialdosis von Adrenalin gelindert werden, eine zweite Dosis per Autoinjektor zu verabreichen (schwache Empfehlung, Evidenz von sehr geringer Qualität) [2, 3]. Neun Beobachtungsstudien lieferten Evidenz von sehr geringer Qualität, um diese Empfehlung zu stützen [69–77]. Dieser CoSTR war Gegenstand einer Scoping-Überprüfung im Jahr 2020 [4, 5, 78]. Zwei identifizierte Studien wurden eingeschlossen; beide Studien ergaben, dass bei Personen, die eine Behandlung mit Adrenalin bei Anaphylaxie benötigten, bei 8 % von 582 Patienten bzw. bei 28 % von 18 Patienten zwei oder mehr Dosen erforderlich waren [78]. Diese Studien bestätigen die Behandlungsempfehlung aus dem Jahr 2015 für die Anwendung einer zweiten Dosis Adrenalin bei Menschen mit Anaphylaxie, wenn sich deren Zustand nicht innerhalb von 5 bis 15 min nach der ersten Dosis verbessert.

In den Wissenslücken des CoSTR 2015 stellte sich die Frage nach der Fähigkeit von Ersthelfern, die Symptome der Anaphylaxie zu erkennen. Im Jahr 2019 führte die Arbeitsgruppe eine Scoping-Überprüfung durch, um diese Frage zu untersuchen. 1081 Datensätze wurden identifiziert, aber nur zwei Studien waren relevant [79, 80]. Beide Studien berichteten über eine Verbesserung des Wissens, der Erkennung und des Managements von Anaphylaxie durch Aus- und Weiterbildung, aber keine fand in klinischen Szenarien statt.

Behandlung einer Unterzuckerung/Hypoglykämie

Eine Hypoglykämie tritt im Allgemeinen bei Personen mit einer Diabeteserkrankung auf. Sie kann aber auch bei anderen Personen aufgrund eines Ungleichgewichts in der Blutzuckerregulation auftreten. Jemand, der eine Hypoglykämie erfährt, kann Anzeichen einer plötzlichen Bewusstseinsstörung zeigen. Die Symptome reichen von Schwindel, Ohnmacht, manchmal Nervosität und abweichendem Verhalten (Stimmungsschwankungen, Aggression, Verwirrung, Konzentrationsverlust, Anzeichen vergleichbar wie bei Trunkenheit) bis hin zur Bewusstlosigkeit [81, 82]. Die Erste Hilfe bei diesem Zustand besteht aus der Gabe von Traubenzuckertabletten oder anderen Darreichungsformen von Zucker wie Saft, Süßigkeiten oder Trockenfruchtstreifen, um das Blutzuckerniveau schnell zu erhöhen. Diese Zuckergaben können eigenständig erfolgen. Häufig jedoch erfolgt die Gabe durch Familienmitglieder oder durch Freunde [81, 83]. Traubenzucker oder Zucker können oral verabreicht und dann durch Verschlucken aufgenommen werden. Auch andere Einnahmeformen sind möglich, die zu einer schnelleren Aufnahme führen als über den oralen Weg. Bei diesen muss die Substanz nicht mehr geschluckt werden, um nachfolgend im Magen-Darm-Trakt aufgenommen zu werden. Andere Einnahmeformen umfassen die „bukale Gabe“, also das Platzieren des Traubenzuckers in der Wange gegen die bukkale Schleimhaut, oder die „sublinguale Gabe“, wobei der

Traubenzucker unter die Zunge gelegt wird. Diese Leitlinie für 2020 basiert auf zwei systematischen Überprüfungen, die von der ILCOR Arbeitsgruppe für Erste-Hilfe durchgeführt wurden [8, 84].

Die erste systematische Überprüfung untersuchte die Wirkung von oraler Glukose (z. B. Traubenzuckertabletten) oder anderen zuckerreichen Nahrungsmitteln (Suchdatum Juni 2016). Die Überprüfung ergab drei randomisierte, kontrollierte Studien und eine Beobachtungsstudie. Es wurden Nahrungszucker, darunter Saccharose, Fruktose, Orangensaft, Geleebohnen, Mentos® (Kaudragees), Maisstärkehydrolysat, Skittles® (Kaudragees) und Milch, mit Traubenzuckertabletten verglichen [84]. In einer Metaanalyse konnte gezeigt werden, dass nach 15 min Behandlung Nahrungszucker zu einer geringeren Aufhebung der Symptome führten als Traubenzuckertabletten. Diese Evidenz hat eine geringe bis sehr geringe Aussagesicherheit und führte zu einer starken Empfehlung für die Verwendung von Traubenzuckertabletten und einer schwachen Empfehlung bezüglich der Verwendung anderer Nahrungszucker, falls Traubenzuckertabletten nicht verfügbar sind [2, 3]. Diese systematische Überprüfung wurde im Rahmen dieser Leitlinie (Suchdatum Juni 2019) aktualisiert. Es konnten jedoch keine neuen Evidenzen identifiziert werden.

Die zweite systematische Überprüfung untersuchte die Auswirkungen unterschiedlicher enteraler Aufnahmewege für die Glukosegabe als Erste-Hilfe-Behandlung bei Hypoglykämie (Suchdatum Januar 2018) [8]. Die Überprüfung ergab zwei randomisierte, kontrollierte Studien, die auch Personen mit Hypoglykämie beinhalteten, und zwei nichtrandomisierte, kontrollierte Studien, einschließlich gesunder Freiwilliger. Es wurde gezeigt, dass bei Kindern mit Hypoglykämie und Symptomen einer gleichzeitigen Malaria- oder Atemwegsinfektion die sublinguale Glukosegabe, durch Gabe von Haushaltszucker unter der Zunge, nach 20 min bessere Ergebnisse hinsichtlich der Glukosekonzentration hatte als die orale Glukosegabe. Es zeigte sich beim Vergleich der bukkalen Gabe mit der oralen Gabe, dass der bukkale

Weg nach 20 min mit einer niedrigeren Plasmaglukosekonzentration schlechter wirkt. Wenn Glukose in Form eines Dextrosegeles verabreicht wurde (was zu einer kombinierten oralen und bukkalen Schleimhautaufnahme führte), konnte im Vergleich zur oralen Glukoseverabreichung kein weiterer Nutzen gezeigt werden. Die Sicherheit der Evidenz ist mäßig bis sehr gering und führte zu einer starken Empfehlung bezüglich der Verwendung von oraler Glukose (geschluckt) und einer schwachen Empfehlung für die Verwendung einer kombinierten oralen + bukkalen Glukosegabe (z. B. Glukosegel), sofern orale Glukose (z. B. Traubenzuckertablette) nicht sofort verfügbar ist. Das gilt jeweils für bewusstseinsklare Personen mit Verdacht auf Hypoglykämie, die in der Lage sind, schlucken zu können. Darüber hinaus wurde eine schwache Empfehlung gegen die bukkale Glukosegabe im Vergleich zur oralen Glukosegabe ausgesprochen. Bei Kindern mit Verdacht auf eine Hypoglykämie, die möglicherweise nicht mit dem oralen (verschluckten) Glukosegabebeweg kooperieren, wurde eine schwache Empfehlung bezüglich der Verwendung der sublingualen Glukosegabe formuliert [4, 5].

Behandlung von anstrengungsbedingtem Flüssigkeitsmangel durch orale Rehydrierungslösungen

Das menschliche Körperwasser macht 50–70 % der gesamten Körpermasse aus. Trotz dieses Überflusses wird es in engen Grenzen reguliert. Bei längerem Training übersteigen die Schweißverluste im Allgemeinen die Flüssigkeitsaufnahme. Selbst ein geringer Flüssigkeitsmangel (etwa 2 % der Körpermasse) beeinträchtigt die Thermoregulation [85] und die kardiovaskuläre Belastbarkeit [86, 87]. Ein fortschreitender Flüssigkeitsmangel kann zur Beeinträchtigung der körperlichen und kognitiven Leistung führen [88, 89], zu Bewusstseinsverlusten aufgrund von niedrigem Blutdruck und schließlich zum Hitzekollaps, der tödlich verlaufen kann [90, 91]. In solchen Situationen ist es von größter Bedeutung, das Trinken nach dem Training zu fördern, um den Flüssigkeitshaushalt

wiederherzustellen. Das Getränkevolumen und die Zusammensetzung sind entscheidend für eine schnelle und vollständige Rehydrierung [92, 93]. Obwohl die Leitlinien des American College of Sports Medicine zu Ernährung und sportlicher Leistung das Trinken von 1,25 bis 1,5 l Flüssigkeit pro kg verlorener Körpermasse empfehlen [94], gibt es keine eindeutige Bestätigung bezüglich der spezifischen Art der Rehydrierungsflüssigkeit. Die häufigsten Formen von Kohlenhydraten in Sportgetränken sind Glukose, Fruktose, Saccharose und Maltodextrin. Die Kohlenhydratkonzentration variiert zwischen den Marken der Sportgetränke, liegt jedoch typischerweise zwischen 6 und 8%, verglichen mit 10 bis 12 % Kohlenhydraten bei gezuckerten Erfrischungsgetränken und Fruchtsäften. Niedrigere Kohlenhydratkonzentrationen werden manchmal als „leichte“ oder kohlenhydratarme Sportgetränke beworben. Die Vorteile dieser unterschiedlichen Konzentrationen von Kohlenhydrat-Elektrolyt-Getränken wurden in zahlreichen Studien an Sportlern untersucht.

Die ideale Rehydrierungslösung nach übungsbedingtem Flüssigkeitsmangel war das Thema einer ILCOR-Überprüfung im Jahr 2015 [2, 3] und wird jetzt von der ILCOR Arbeitsgruppe für Erste-Hilfe aktualisiert [4, 5]. Weitere 15 Studien wurden identifiziert (Suchdatum Juli 2019), was zur Aufnahme von insgesamt 23 randomisierten, kontrollierten Studien (RCT) und vier nichtrandomisierten Studien führte, in denen verschiedene Kohlenhydratkonzentrationen („carbohydrate electrolyte solutions“, CES), Bier mit unterschiedlichen Alkoholanteilen, Milch, Kokoswasser oder stark alkalisches Wasser, Joghurtgetränke oder Tee mit jeweils normalem Wasser verglichen wurden. Die am besten verfügbaren Studiendaten hatten eine geringe bis sehr geringe Sicherheit aufgrund von Einschränkungen im Studiendesign, ungenauen Ergebnissen und einem stark vermuteten Interessenkonflikt [4, 5].

Evidenz für Kohlenhydrat-Elektrolyt-Lösungen (CES) im Vergleich zu Wasser

8–12 % CES im Vergleich zu Wasser. Belege mit sehr geringer Sicherheit aus 2 RCT [95, 96] konnten keinen Nutzen von 8–12 % CES im Vergleich zu Wasser für die kumulative Urinausscheidung nachweisen. Darüber hinaus zeigten Belege mit sehr geringer Sicherheit aus 2 RCT [92, 95] einen Nutzen von 8–12 % CES für die Flüssigkeitsretention nach 1 und 2 h und gegen die Dehydrierung nach 1 und 2 h im Vergleich zu Wasser. Evidenz mit geringer Sicherheit aus 1 RCT konnte keinen Nutzen für die Entwicklung einer Hyponatriämie zeigen [96].

3–8 % CES im Vergleich zu Wasser. Belege mit sehr geringer Sicherheit aus 3 RCT [97–99] und 3 Nicht-RCT [100–102] zeigten einen Nutzen von 3–8 % CES für die kumulative Urinausscheidung im Vergleich zu Wasser. Darüber hinaus konnte in 3 RCT kein Nutzen für die kumulative Urinausscheidung nachgewiesen werden [103–105]. Belege mit sehr geringer Sicherheit aus 6 RCT [97–99, 103, 105, 106] und 2 Nicht-RCT [101, 102] zeigten einen Nutzen von 3–8 % CES für die Flüssigkeitsretention im Vergleich zu Wasser. Darüber hinaus konnte in 4 RCT kein vorteilhafter Effekt für die Flüssigkeitsretention oder Rehydrierung nachgewiesen werden [92, 104, 107, 108].

0–3 % CES im Vergleich zu Wasser. Belege mit geringer Sicherheit aus 2 RCT [109, 110] zeigten einen Nutzen von 0–3 % CES für die kumulative Urinausscheidung, Flüssigkeitsretention und Serumnatriumkonzentration im Vergleich zu Wasser. Ein Nutzen für die Serumkaliumkonzentration konnte nicht nachgewiesen werden.

Evidenz für Milch im Vergleich zu Wasser

Evidenzen mit sehr geringer Sicherheit aus 3 RCT [95, 103, 104] zeigten einen Nutzen von Magermilch für die kumulative Urinausscheidung, Flüssigkeitsretention und Dehydrierung im Vergleich zu Wasser.

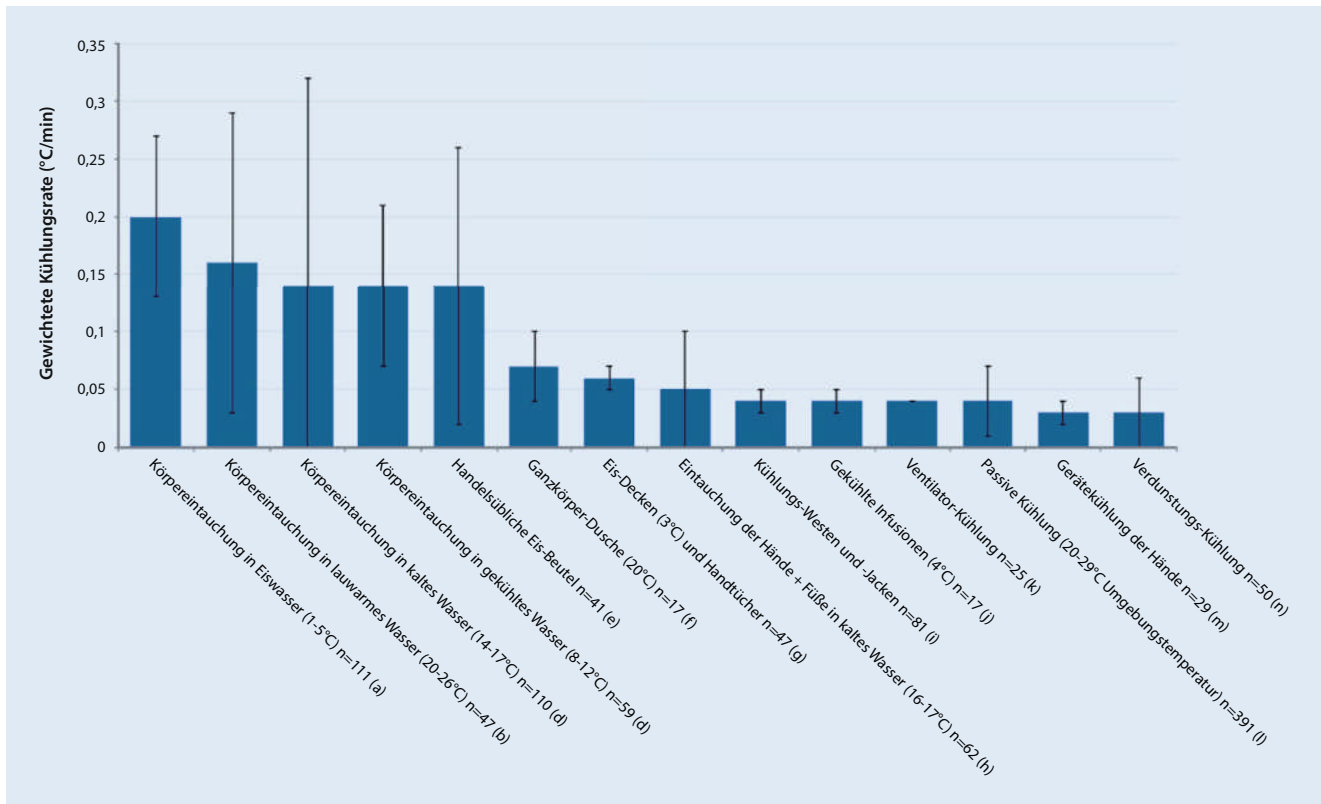


Abb. 3 ▲ Gewichtete mittlere Abkühlraten (°C/min) nach Abkühlmethode

Darüber hinaus zeigte Evidenz aus 1 RCT mit sehr geringer Sicherheit [104] einen Nutzen von Magermilch mit 20 mmol/l Natriumchlorid für die kumulative Urinausscheidung und Flüssigkeitsretention.

Evidenz für normales Bier im Vergleich zu Wasser

Evidenz mit sehr geringer Sicherheit aus 1 RCT [111] zeigte, dass normales Bier (4,5–5% Alkohol) die kumulative Urinausscheidung und Flüssigkeitsretention im Vergleich zu Wasser beeinträchtigt. Darüber hinaus konnte in 2 anderen RCT kein Nutzen [105, 112] für die kumulative Urinausscheidung, die Flüssigkeitsretention und die Natrium- und Kaliumkonzentration im Serum nachgewiesen werden.

Andere Rehydrierungslösungen im Vergleich zu Wasser

Für die folgenden Rehydrierungslösungen liegen keine ausreichenden Belege vor, um ihre Verwendung zu empfehlen: Kokoswasser [99, 107], Ahornwasser [113], Joghurtgetränke [96], Roibuschtee

[114], chinesischer Tee plus Koffein [96], hochalkalisches Wasser [115], Wasser aus dem tiefen Ozean [116, 117] oder handelsübliches Tafelwasser [118], 3% Glycerin [119], alkoholfreies oder alkoholfreies Bier [105, 111] oder Molkeproteinisolat-Lösungen [120].

Management des Hitzschlags durch Kühlung

Ein Hitzschlag tritt auf, wenn die Kernkörpertemperatur 40 °C überschreitet. Er ist ein medizinischer Notfall und kann zu schweren Organschäden und zum Tod führen, wenn die Kerntemperatur nicht sofort gesenkt wird [121]. Ein Hitzschlag ohne Anstrengung wird normalerweise nach längerer Sonneneinstrahlung beobachtet und tritt häufig bei Hitzewellen auf [122–124]. Er wird jedoch auch bei heißem Wetter bei Personen mit eingeschränkter Wärmeregulierung beobachtet, z. B. bei älteren Menschen oder Kindern. Ein anstrengungsverursachter Hitzschlag ist mit körperlicher Belastung in einer heißen oder warmen Umgebung verbunden.

Im Jahr 2020 veröffentlichte die ILCOR Arbeitsgruppe für Erste-Hilfe eine systematische Überprüfung der Kühlmethoden für Hitzschlag [125]. Insgesamt wurden 3289 Datensätze mit 63 Studien identifiziert, die in die quantitative GRADE-Analyse einbezogen wurden. Eine detaillierte Analyse der wissenschaftlichen Erkenntnisse, die verschiedene Kühltechniken unterstützen, wurde von der ILCOR Arbeitsgruppe für Erste-Hilfe durchgeführt und zusammengefasst [4, 5]. In der systematischen Überprüfung stammten die meisten Evidenzen aus Studien an gesunden erwachsenen Freiwilligen mit induziertem Hitzschlag bei Belastung. Gleichwohl verwendete die Arbeitsgruppe Kohortenstudien und Fallserien von belastungsverursachten Hitzschlagverletzte, um ihre Empfehlungen zu untermauern. Diese Überprüfung ergab, dass die schnellste Abkühlgeschwindigkeit durch Eintauchen des gesamten Körpers in Wasser (vom Hals abwärts) bei einer Wassertemperatur zwischen 1 und 26 °C erreicht wurde. Überraschenderweise war die Abkühlung bei Verwendung von

lauwarmem Wasser zum Eintauchen fast genauso schnell wie bei Eiswasser. Das Eintauchen in Wasser kühlte schneller ab als alle anderen Formen der aktiven Kühlung, einschließlich der Verwendung von Eispackungen in den Achselhöhlen, der Leistengegend und am Hals, Verwendung von Duschen, Eisdecken oder Handtüchern und Benetzung/Lüftereinsatz. Die passive Abkühlung war etwas schneller als die Verdunstungskühlung und wurde von der Arbeitsgruppe als wesentlicher Bestandteil der Kühlung bei Hitzschlag oder Belastungshyperthermie angesehen.

Eine Konsensmeinung der Arbeitsgruppe war, dass die Kerntemperatur (rektal oder ösophageal) bei der Bewertung oder Behandlung von Hitzschlag nach Möglichkeit gemessen werden soll. Bei Erwachsenen mit Belastungshyperthermie oder Belastungshitzschlag wird der Patient durch Eintauchen des gesamten Körpers (vom Hals abwärts) in Wasser bei 1–26 °C aktiv gekühlt, bis eine Körpertemperatur unter 39 °C erreicht ist (schwache Empfehlung, sehr geringe Sicherheit). Wenn kein Eintauchen in kaltes Wasser möglich ist, verwenden Sie eine andere sofort verfügbare Kühltechnik (schwache Empfehlung, sehr geringe Sicherheit), die die schnellste Abkühlrate liefert (schwache Empfehlung, sehr geringe Sicherheit). Es wurde keine Empfehlung für einen klassischen Hitzschlag abgegeben (keine Empfehlung, Evidenz mit sehr geringer Sicherheit), da nur wissenschaftliche Evidenzen für einen Hitzschlag bei körperlicher Belastung gefunden wurden. Es wurde keine Empfehlung zur Kühlung von Kindern mit anstrengungsbedingtem oder klassischem Hitzschlag abgegeben (keine Empfehlung, Evidenz mit sehr geringer Sicherheit), da sich die gesamten wissenschaftlichen Daten auf erwachsene Probanden bezogen.

■ **Abb. 3** zeigt die in der systematischen Überprüfung überprüften Kühltechniken in abnehmender Reihenfolge der Wirksamkeit, einschließlich Eintauchen in Eiswasser (1–5 °C), Eintauchen in lauwarmes Wasser (20–25 °C) und Eintauchen in kaltes Wasser (14–17 °C), Eintauchen in kälteres Wasser (8–12 °C), handelsübliche Eisbeutel, Duschen (20 °C),

Eisdecken und Handtücher (3 °C), Eintauchen in kaltes Wasser von Hand und Füßen (16–17 °C), Kühlwesten und -jacken, kalte intravenöse Flüssigkeiten, Lüfterkühlung, passive Kühlung, Handkühlgeräte und Verdunstungskühlung [125].

Verwendung von Sauerstoff bei akutem Schlaganfall

Die Verwendung von Sauerstoff bei akutem Schlaganfall ist umstritten. Die ILCOR Arbeitsgruppe für Erste-Hilfe nahm eine systematische Überprüfung vor und veröffentlichte eine Empfehlung/CoSTR [4, 5]. Die Behandlungsempfehlung spricht sich gegen die routinemäßige Verwendung von Sauerstoff in der Erste-Hilfe-Situation aus, bezogen auf den Vergleich zur Nichtverwendung von Sauerstoff (schwache Empfehlung, geringe bis mäßige Evidenzsicherheit).

Direkte Belege lieferte eine präklinische Beobachtungsstudie [126], die von 8 randomisierten, kontrollierten Studien [127–134] im Krankenhaus unterstützt wurde, in denen die Behandlung mit Sauerstoff bei unterschiedlichen Flussraten und Abgabemethoden mit der Behandlung ohne Sauerstoff verglichen wurde. Die Gesamtheit dieser Studien zeigte keine Verbesserung des Überlebens, der Lebensqualität oder des neurologischen Ergebnisses, einschließlich des NIHSS-Scores (National Institutes of Health Stroke Scale). Eine retrospektive Beobachtungsstudie ergab, dass beim Vergleich von drei akuten Schlaganfallgruppen (Sauerstoff bei Hypoxie, routinemäßige Bereitstellung von Sauerstoff, kein Sauerstoff) keine Zunahme der Atemwegserkrankungen oder neurologischen Komplikationen bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus auftrat, was darauf hindeutet, dass eine frühzeitige Gabe von Sauerstoff sicher sein könnte.

Die Arbeitsgruppe bedachte auch, dass die Bereitstellung von zusätzlichem Sauerstoff nicht als routinemäßige Erste Hilfe angesehen werden kann. Die Verabreichung von Sauerstoff erfordert die Bereitstellung und Verwendung von Geräten sowie ein Verständnis der

Mechanismen und Risiken einer Sauerstoffgabe. Es wurde festgestellt, dass dies möglicherweise nicht für alle Ersthelfer verfügbar oder anwendbar ist und dass für diese weitere spezifische Schulungen erforderlich wären.

Behandlung von Präsynkopen

Eine Synkope (Ohnmacht) ist ein vorübergehender Bewusstseinsverlust. In vielen Fällen geht eine prodromale Phase voraus, die Präsynkope, die durch Benommenheit, Übelkeit, Schwitzen, schwarze Flecken vor den Augen und ein bevorstehendes Gefühl des Bewusstseinsverlusts gekennzeichnet ist. Die geschätzte weltweite Inzidenz liegt zwischen 15 und 39%, 50% der Frauen und 25% der Männer haben in ihrem Leben ein Synkopeneignis [135–137]. Verletzungen durch synkopenbedingte Stürze umfassen Frakturen, intrakranielle Blutungen, innere Organverletzungen und neurologische Verletzungen und machen etwa 30% der in Notaufnahmen aufgenommenen Patienten aus [138]. Die Synkope kann vasovagalen (50%) oder orthostatischen (7%) oder kardialen (7%) Ursprungs sein [139]. Es gibt Laborergebnisse, die darauf hindeuten, dass physikalische Gegendruckmanöver eine Synkope verhindern können, sofern sie in der präsynkopalen Phase angewandt werden [140–143]. Physikalische Gegendruckmanöver (PCM) umfassen die Muskelkontraktion der großen Muskeln von Armen, Beinen und Bauch – Beinpumpen, Anspannen, Überkreuzen, Hocken, Händegreifen und Bauchkompression (■ **Abb. 4**).

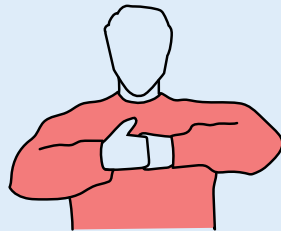
Im Jahr 2020 veröffentlichte die ILCOR Arbeitsgruppe für Erste-Hilfe eine systematische Überprüfung der Sofortmaßnahmen für Präsynkopen vasovagalen oder orthostatischen Ursprungs [7] und eine CoSTR-Erklärung [4, 5]. Von 5160 ursprünglich identifizierten Quellenangaben wurden 81 Studien für die Volltextüberprüfung ausgewählt. Acht Studien wurden letztendlich in die GRADE-Analyse einbezogen (zwei randomisierte kontrollierte Studien [144, 145] und sechs prospektive Kohortenstudien [146–151]). Alle Studien untersuchten die Auswirkungen physikali-



1. In die Hocke gehen



2. Anspannung der Oberarme



3. Anspannung der Beine durch Überkreuzen

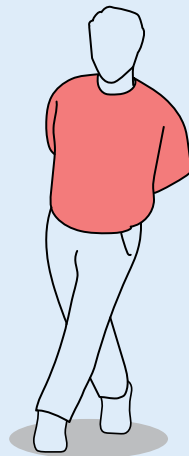


Abb. 4 ◀ Physikalische Gegendruckmanöver zur Vermeidung von Synkopen

scher Gegendruckmanöver, wobei sechs der acht Studien Präsynkopen vasovagalen Ursprungs untersuchten [144, 146, 147, 149–151], während die anderen Studien Präsynkopen orthostatischen Ursprungs untersuchten [145, 149]. Alle acht Studien zeigten überwiegend vorteilhafte Ergebnisse für die angestrebte Wirkung, sowohl für die kombinierte vasovagale und orthostatische Präsynkope-Gruppe als auch für diejenigen mit einer Präsynkope ausschließlich

vasovagalen Ursprungs. Gepoolte Beobachtungsstudien verschiedener PCM-Methoden zeigten keinen Nutzen für die Beendigung der Synkope. Wenn jedoch die Verwendung einer PCM-Methode im Vergleich zu einer alternativen Methode, oder im Vergleich zu einer Kontrolle, verglichen wurde, zeigten mehrere Studien einen Nutzen für die Beendigung der Synkope. Evidenz mit geringer Sicherheit deutet auf einen bescheidenen Nutzen bei der Verwendung von PCM

zum Abbruch einer Synkope hin. Einen starken Zusammenhang zeigen Evidenzen mit einer geringen Sicherheit für eine Symptomreduktion [144–151]. Es wurden keine unerwünschten Ereignisse gemeldet, was darauf hindeutet, dass die Verwendung von PCM bei Personen mit dem Verdacht auf oder einer wiederkehrenden vasovagalen oder orthostatischen Präsynkope eine sichere und wirksame Erste-Hilfe-Intervention darstellt [146, 147].

Die ILCOR Arbeitsgruppe für Erste-Hilfe empfahl Personen mit akuten vasovagalen oder orthostatischen Präsynkopesymptomen jede Art von physikalischen Gegendruckmanövern (starke Empfehlung, geringe und sehr geringe Sicherheit). Physikalische Gegendruckmanöver mit dem Unterkörper (Hocken, Hocken mit Beinüberkreuzung, Marschieren) wurden gegenüber Manövern des Oberkörpers (Handgreifen, Nackenbeugung, Anspannung der Körpermitte) bevorzugt empfohlen (schwache Empfehlung, sehr geringe Sicherheit) [7]. Die Arbeitsgruppe räumte ein, dass viele dieser Studien Laboruntersuchungen an Personen mit vorbestehender vasovagaler oder orthostatischer Synkope waren. Sie erkannten auch an, dass für eine Verbreitung dieser Empfehlung Ersthelfer in Betreuungstechniken geschult werden müssten, um Betroffene in der Durchführung der physikalischen Gegendruckmanöver anleiten zu können.

Stillung lebensbedrohlicher Blutungen

Traumata sind weltweit die häufigste Ursache für verletzungsbedingte Morbidität und Mortalität. Unkontrollierte Blutungen sind die Haupttodesursache bei bis zu 35 % der Traumapatienten [152, 153]. In nur 5 min kann ein Ausbluten auftreten, sodass die sofortige Kontrolle lebensbedrohlicher Blutungen eine wichtige Maßnahme für die Erste Hilfe darstellt. Aus einer Wunde fließendes oder spritzendes Blut, Blut, das sich auf dem Boden sammelt, oder Blutungen, die nicht allein durch direkten manuellen Druck kontrolliert werden können, sind Erkennungszeichen für eine lebensbedrohliche Blutung. Obwohl direkter manueller

Druck der Goldstandard für die anfängliche Kontrolle von Blutungen war, werden jetzt häufiger alternative Techniken wie die Verwendung von Tourniquets und hämostatischen Verbänden bei lebensbedrohlichen Blutungen in der Präklinik im militärischen und zivilen Umfeld angewendet.

In einer kürzlich durchgeführten systematischen Überprüfung durch das International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) wurden mehrere Methoden zur Kontrolle lebensbedrohlicher äußerer Blutungen bewertet [154]. Die Evidenzen für diese Überprüfung wurden aus der zivilen Präklinik ermittelt, ergänzt durch Studien aus der militärischen Präklinik, aus der Krankenhausversorgung, und einige Simulationsstudien. Obwohl Evidenzen gefunden wurden, die Empfehlungen für die Verwendung von direktem Druck, Tourniquets und hämostatischen Verbänden stützen, muss die Reihenfolge der Anwendung noch untersucht werden. Darüber hinaus wurden keine vergleichenden Evidenzen für die Verwendung von Druckpunkten, Eis (Kryotherapie) oder der Lagerhöhung zur Kontrolle lebensbedrohlicher Blutungen gefunden. Es gab unzureichende Evidenzen für die Verwendung von Tourniquets oder Wundklemmvorrichtungen durch Laienanwender.

Direkter Druck, Druckverbände, hämostatische Verbände, Druckpunkte und Kryotherapie bei lebensbedrohlichen Blutungen

Obwohl dies als traditioneller „Goldstandard“ für die Blutungskontrolle angesehen wird, sind die Evidenzen für die Verwendung von direktem manuellem Druck zur Kontrolle lebensbedrohlicher Blutungen begrenzt und indirekt. Bei 918 Patienten wurden drei randomisierte, kontrollierte Studien mit endovaskulären Eingriffen im Krankenhaus durchgeführt. Es zeigte sich, dass bei der Verwendung mechanischer Druckgeräte bis zur Hämostase mehr Zeit verging als bei direktem manuellem Druck [155–157].

Die Verwendung von Druckverbänden zur Aufrechterhaltung der Hämostase nach Kontrolle lebensbedrohlicher Blutungen wird auch durch begrenzte

Evidenz mit geringer Sicherheit gestützt. Eine Kohortenstudie mit 64 Patienten mit arteriovenöser Fistelpunktion berichtete über eine Blutstillung bei 45,5% unter Verwendung eines direkten manuellen Drucks im Vergleich zu 82% unter Verwendung eines kommerziellen elastischen Kompressionsverbands. Eine präklinische zivile Fallserie von 62 Patienten mit penetrierenden Verletzungswunden berichtete über eine Blutungskontrolle durch einen handelsüblichen Druckverband in 87% und eine Verringerung der Blutung in den verbleibenden 11% [158, 159].

Hämostatische Verbände unterscheiden sich in Design oder Wirkmechanismus, bestehen jedoch typischerweise aus speziell behandelten Gaseschwämmen, die ein Mittel enthalten, das die Blutgerinnung fördert. Diese Verbände werden auf eine Wunde aufgebracht oder in eine Wunde gepackt und funktionieren in Kombination mit direktem manuellem Druck. Ersthelfer haben gezeigt, dass sie neben direktem manuellem Druck auch hämostatische Verbände zur Behandlung lebensbedrohlicher Blutungen verwenden können [160]. Obwohl es hauptsächlich nur indirekte Evidenzen gibt, unterstützen diese die Verwendung von hämostatischen Verbänden mit direktem manuellem Druck zur Kontrolle lebensbedrohlicher Blutungen.

Eine randomisierte, kontrollierte Studie mit geringer Sicherheit an 160 Patienten mit Stichwunden an den Gliedmaßen zeigte bei 51,2% derjenigen, die einen mit Chitosan beschichteten hämostatischen Verband mit direktem Druck angelegt bekommen hatten, ein Aufhören der Blutung in weniger als 5 min. Im Vergleich war dies durch direkten Druck allein bei 32,5% der Patienten der Fall [161]. Vierzehn RCT mit 2419 Erwachsenen aus zivilen Krankenhäusern, die sich endovaskulären Eingriffen unterzogen, zeigten ebenfalls eine schnellere Hämostase (4,6–17,8 Minuten) unter Verwendung eines hämostatischen Verbands im Vergleich zum direkten manuellen Druck (12,4–43,5 min) [162–175].

Obwohl hämostatische Verbände als kostspielig angesehen werden können, war die Erste-Hilfe-Arbeitsgruppe der festen Überzeugung, dass die Kosten

für einen einzelnen Verband in einem Erste-Hilfe-Set nicht mit dem Wert eines Lebens vergleichbar sind, das durch unkontrollierbare Blutungen verloren gegangen ist.

Tourniquets (Abbindesysteme)

Es ist belegt, dass Tourniquets lebensbedrohliche Blutungen aus Wunden an den Gliedmaßen stoppen und die Überlebensrate verbessern [176, 177]. In einer Kohortenstudie mit 281 Erwachsenen mit traumatischen Extremitätenverletzungen war die Verwendung eines Tourniquets im präklinischen Umfeld mit einer niedrigeren Sterblichkeitsrate verbunden als bei einer Verwendung des Tourniquets nach Ankunft im Krankenhaus (3% [8/252] vs. 14% [2/29]; $p=0,01$) [176]. Eine zweite, größere Kohortenstudie mit 1025 Erwachsenen mit traumatischer peripherer Gefäßverletzung ergab bei der Verwendung eines Tourniquets eine Verringerung der Sterblichkeitsrate (7/181 [3,9%]) im Vergleich zu keiner Verwendung von Tourniquets (44/845 [5,2%]), bereinigtes OR 5,86; 95%-CI 1,4–24,5).

Handelsüblich hergestellte Tourniquets können eine Ankerwinde, Ratsche oder ein elastisches Design haben und sollen den Druck in Umfangsrichtung so verteilen, dass Gewebeschäden verhindert werden, während der Blutfluss bei ordnungsgemäßem Festziehen effektiv gestoppt wird. Es gibt keine randomisierten Studien im präklinischen Umfeld, die eine überlegene Kontrolle der Blutung oder des Überlebens auf der Grundlage des Designs eines handelsüblich hergestellten Tourniquets zeigen [178–184].

Im Vergleich zu improvisierten Tourniquets wurde in Simulationsstudien mit gesunden Freiwilligen gezeigt, dass ein handelsüblich hergestelltes Tourniquet eine höhere Erfolgsrate bei der Beendigung von Blutungen aufweist [185, 186]. Eine Simulationsstudie mit Übungspuppen berichtete über eine 100%ige Beendigung der simulierten Blutung bei Verwendung eines Combat Application Tourniquet® (CAT), 40% bei Verwendung eines improvisierten Bandagen-Tourniquets und 10% bei Verwendung eines improvisierten Bandana/Tuch-Tourniquets [187]. Es gibt Hinweise

darauf, dass geschulte Ersthelfer in der Lage sind, ein improvisiertes Tourniquet ordnungsgemäß und erfolgreich anzuwenden, um Blutungen zu stoppen [185–187].

Ein Tourniquet ist möglicherweise nicht sofort verfügbar. In diesem Fall bleibt der direkte manuelle Druck das erste Mittel zur Kontrolle lebensbedrohlicher Blutungen, obwohl er in Kombination mit einem hämostatischen Verband wirksamer sein kann als der direkte Druck allein [155–157, 176, 177].

Es besteht die Sorge, dass für Erwachsene hergestellte handelsübliche Tourniquets möglicherweise an den sehr kleinen Gliedmaßen von Kleinkindern oder Säuglingen nicht ausreichend festgezogen werden können. Ein 2020-ILCOR-Scoping-Review [4, 5] identifizierte eine kürzlich durchgeführte Studie bei Kindern, die ein erfolgreiches Unterbinden eines Pulses bei Kindern im Alter von zwei Jahren unter Verwendung eines handelsüblich hergestellten Ankerwinde-Tourniquets zeigte [188]. Um eine lebensbedrohliche Blutung aus einer Extremitätenverletzung bei Kindern unter zwei Jahren als Ersthelfer unter Kontrolle zu bringen und wenn ein handelsüblich hergestelltes Tourniquet sich nicht festziehen lässt, kann es sinnvoll sein, einen direkten manuellen Druck mit oder ohne einen hämostatischen Verband anzuwenden.

Behandlung offener Brustkorbverletzungen

Dieses Thema wurde in der CoSTR-Überprüfungsrunde 2020 nicht behandelt. Die korrekte Behandlung einer offenen Brustkorbverletzung ist von entscheidender Bedeutung, da ein versehentliches Versiegeln der Wunde durch Verwendung von Okklusionsverbänden oder Gerätschaften zu der lebensbedrohlichen Komplikation eines Spannungspneumothorax führen kann [189]. Die ILCOR-CoSTR-Behandlungsempfehlung von 2015 rät bei Personen mit offener Brustverletzung von der Anwendung eines Okklusionsverbands oder Gerätschaften durch Ersthelfer ab (schwache Empfehlung, sehr minderwertige Evidenz) [2, 3]. Die Empfehlung

basiert auf einer Tierstudie [190], die einen Nutzen bei der Anwendung eines nichtokkludierenden Verbands in Bezug auf Atemstillstand, Sauerstoffsättigung, therapeutischen Endpunkt (Atemzugvolumen) und die Vitalfunktionen Herzfrequenz und Atemfrequenz zeigt, jedoch nicht für den mittleren Blutdruck. Die Arbeitsgruppe wägte ab, dass jegliche Empfehlungen zu diesem Thema auf der Grundlage einer einzelnen Tierstudie getroffen wurden. Sie kam zu dem Schluss, dass die Nichtempfehlung der Verwendung eines Verbands oder eines Verschlussgeräts vor dem Auftreten eines potenziell tödlichen Spannungspneumothorax schützen würde [4, 5].

Falls jedoch ein spezieller nichtokkludierender Verband verfügbar ist und der Ersthelfer in der Handhabung und der anschließenden Weiterversorgung sowie der notwendigen Überwachung des Zustands des Verletzten geschult wurde, kann ein solcher verwendet werden [4, 5].

Stabilisierung und Immobilisierung der Halswirbelsäule

Bei Traumapatienten sind Verletzungen der Halswirbelsäule selten, können aber vorhanden sein [191, 192]. Erste-Hilfe-Maßnahmen zielen darauf ab, zusätzliche Bewegungen des Halses zu minimieren, um mögliche Verletzungen der Halswirbelsäule zu verhindern.

Definitionen:

- Eine Immobilisation der Wirbelsäule ist definiert als Maßnahme zur Ruhigstellung der Wirbelkörper mithilfe einer Kombination aus verschiedenen medizinischen Geräten (z. B. Spineboard/Rettungsbrett und Halskrause), um die Bewegungsmöglichkeiten der Wirbelsäule einzuschränken.
- Die Einschränkung der Halswirbelsäulenbeweglichkeit ist definiert als Maßnahme zur Reduktion oder Einschränkung von Bewegungen im Halsbereich mithilfe von Stabilisierungsgeräten, wie z. B. Halskrause und Sandsäcken mit Fixierungsbindern.
- Eine Stabilisierung der gesamten Wirbelsäule ist definiert als Herstel-

lung einer neutralen Position der Wirbelsäule, z. B. durch manuelle Stabilisierung, vor der Anwendung von Geräten zur Bewegungseinschränkung.

- Manuelle Stabilisierung ist definiert als jede Technik, die verwendet wird, um den Hals mit den Händen oder Armen eines Helfers in einer gleichmäßigen Position zu halten, d. h. keine Verwendung von Geräten.

Bei einem Verdacht auf eine Verletzung der Halswirbelsäule war es in der Vergangenheit Routine, eine Halskrause am Hals anzulegen, um eine Schädigung der Halswirbelsäule zu vermeiden. Dieses Vorgehen basierte eher auf Fachmeinungen und Übereinkünften als auf wissenschaftlichen Erkenntnissen [193, 194]. Der ILCOR CoSTR von 2015 schlug vor, die Verwendung von Halskrausen durch Ersthelfer zu unterbinden (schwache Empfehlung, sehr minderwertige Evidenz) [2, 3]. Diese Empfehlung wurde 2015 ausgesprochen und 2020 bestätigt. Die Arbeitsgruppe war der Ansicht, dass die Empfehlung mit dem Erste-Hilfe-Prinzip der Verhinderung weiterer Schäden, im Vergleich zu den potenziellen Vorteilen der Anwendung einer Halskrause, vereinbar ist [4, 5]. Es wurde über Nebenwirkungen durch die Verwendung von Halskrausen berichtet, wie z. B. ein verzögerter Transport zur endgültigen Versorgung [195, 196], Beschwerden und Schmerzen des Patienten [197], erhöhter Hirndruck [198, 199] und ein reduziertes Atemzugvolumen [200].

Im Jahr 2019 führte die Arbeitsgruppe für Erste-Hilfe eine umfassende Überprüfung der Literatur über Maßnahmen zur Bewegungsbeschränkung der Halswirbelsäule durch. Insgesamt wurden 3958 Aufzeichnungen durchgesehen, von denen sechs als relevant identifiziert wurden [201–206]. Diese Studien beinhalteten drei, die über die Eigenschaft berichteten, die Bewegung der Halswirbelsäule in unterschiedlichem Maße einzuschränken [202, 205, 206]. Es fand sich ein Fallbericht [203], der eine Verschlechterung der neurologischen Auswirkungen zeigte, und zwar so lange, bis die Halskrause entfernt wurde. Eine kleine Kohortenstudie [204] berichtete

über die Entwicklung falscher zentraler Halswirbelsäulenbeschwerden durch die Verwendung einer Halskrause und eines starren Rückenbretts. Eine Literaturübersicht [201] aus fünf Studien berichtete, dass wache Verletzte effektive Selbstimmobilisierungs- und Schutzmechanismen aufwiesen. Darüber hinaus berichteten sie, dass ein Verletzter, der sich eigenständig aus einem Fahrzeug befreit, seinen Hals bis zu viermal weniger bewegt als ein Verletzter, der mit traditionellen Methoden befreit wird.

Die Arbeitsgruppe war nicht der Ansicht, dass es genügend Hinweise gibt, um eine weitere systematische Überprüfung zu veranlassen. Somit bleibt die 2015 abgegebene Empfehlung weiterhin in Kraft. Falls eine manuelle Stabilisierung in Erwägung gezogen wird, gibt es derzeit keine hinreichenden Evidenzen, um eine bestimmte manuelle Stabilisierungstechnik (Kopfhalt, Trapezklemme) empfehlen zu können [4, 5].

Feststellung einer Gehirnerschütterung

Kleinere Kopfverletzungen ohne Bewusstseinsverlust sind bei Erwachsenen und Kindern häufig. Ersthelfer können aufgrund der Komplexität der Symptome und Anzeichen Schwierigkeiten haben, eine Gehirnerschütterung (leichte traumatische Hirnverletzung [„minor traumatic brain injury“, mTBI]) zu erkennen. Das Erkennen einer Gehirnerschütterung ist wichtig, da das Nichterkennen zu schwerwiegenden Konsequenzen führen kann, einschließlich weiterer Verletzungen, und sogar bis zum Tod. Einige der Symptome einer Gehirnerschütterung können unmittelbar nach dem Ereignis auftreten. Andere werden möglicherweise erst Tage oder Monate nach der Verletzung bemerkt, oder wenn die Person wieder ihren Alltag, wie vor der Verletzung, aufnimmt [207]. Unter bestimmten Umständen erkennen oder geben Personen nicht zu, dass sie Symptome einer Gehirnerschütterung haben. Andere verstehen möglicherweise nicht, auf welche unterschiedlichen Weisen sie betroffen sind und wie sich die Symptome auf ihre täglichen Aktivitäten auswirken.

Im Jahr 2015 gab der ILCOR CoSTR [2, 3] keine Empfehlung ab. Jedoch erkannte er die wichtige Funktion eines einfachen, validierten, einstufigen Bewertungssystems für Gehirnerschütterungen bei der Beurteilung durch Ersthelfer.

Ersthelfer sind häufig mit Situationen konfrontiert, in denen sie entscheiden müssen, welchen Rat sie einer Person nach einem Kopftrauma geben sollen [1, 208], insbesondere beim Sport. Eine Studie [209] identifizierte ein unzureichendes Selbstvertrauen und Wissen bei Laienhelfern, um eine Entscheidung treffen zu können, wie in einem Kopfverletzungsszenario vorzugehen ist, abgesehen von der Suche nach professioneller medizinischer Hilfe. Diese Situation kann durch Kontext- und Situationsfaktoren bedingt in sehr unterschiedlicher Gestalt vorliegen.

Eine Ende 2019 durchgeführte umfassende Überprüfung des Sachverhalts ergab kein einziges veröffentlichtes Manuskript, in dem die Verwendung eines einstufigen Instruments zur Beurteilung von Gehirnerschütterungen beschrieben wurde [4, 5]. Es konnten die nachfolgenden validierten Instrumente zur Beurteilung von Gehirnerschütterungen identifiziert werden. Die Forderung einer zuverlässigen Beurteilung von Gehirnerschütterungen durch Ersthelfer erfüllen sie jedoch nicht.

Instrument zur Beurteilung von Gehirnerschütterungen beim Sport (Sport Concussion Assessment Tool/SCAT5)

Im Sport wird das Thema Gehirnerschütterung sehr ernst genommen. Mittlerweile wurde die fünfte Version des Sport Concussion Assessment Tool (SCAT5) für die Nutzung durch Angehörige der Gesundheitsberufe, zusammen mit den dazugehörigen Begründungen, veröffentlicht [210, 211]. Die Implementierung von SCAT5 hat in vielen Sportarten zu grundlegenden Veränderungen geführt, die sowohl die Erkennung von Gehirnerschütterungen als auch das anschließende Management von Teilnehmern jeden Alters im Sport verbessert haben. Trotz alledem bleibt SCAT5 ein zweistufiges System zur Bewertung von Gehirnerschütterungen und ist somit für

Ersthelfer im Rahmen einer Erste-Hilfe-Leistung nicht geeignet.

Instrument zur Erkennung von Gehirnerschütterungen (Concussion Recognition Tool/CRT5)

Im Jahr 2017 wurde zur Erkennung von Gehirnerschütterungen das Concussion Recognition Tool (CRT5) [212, 213] eingeführt, das von Nichtangehörigen der Gesundheitsberufe verwendet werden soll. Bisher liegen jedoch keine veröffentlichten Validierungsdaten für dieses Instrument vor.

Glasgow-Koma-Skala (Glasgow Coma Scale/GCS)

Die Glasgow-Koma-Skala (GCS) für Erwachsene und Kinder wird häufig verwendet, um eine geringfügige traumatische Hirnverletzung zu beurteilen und zu bewerten. Die Glasgow-Koma-Skala wurde jedoch zuerst mit 3 Skalenkomponenten entwickelt, mit denen der Bewusstseinsgrad von Patienten mit einer akuten Hirnverletzung bestimmt werden kann [214]. Schließlich wurden drei Komponenten der Skala zu einem einzigen Index zusammengefasst, obwohl dadurch einige Details und Unterscheidungen verloren gehen, die nur durch die vollständige Skala vermittelt werden [215]. Dieser Index wird heutzutage häufig in der präklinischen Umgebung und in der Notaufnahme von Gesundheitsdienstleistern verwendet, um den Bewusstseinsgrad einer Person nach einer Kopfverletzung zu beurteilen und zu überwachen. Um eine mögliche Gehirnerschütterung nach einer Kopfverletzung als Ersthelfer zu beurteilen, ist der GCS kein geeignetes Instrument, da die Mehrheit der Gehirnerschütterungsereignisse nicht zu einem Verlust oder einer Veränderung des Bewusstseins führen.

AVPU-Skala

„(Alert) Waches Bewusstsein“, „(Verbal) Reagiert auf verbale Reize“, „(Pain) Reagiert auf Schmerzen“, „(Unresponsive) Reagiert nicht“ (AVPU) ist eine weitere häufig verwendete Skala in der präklinischen Umgebung, die diskutiert wurde. Diese einfache Bewertungsskala wird

verwendet, um das Reaktionsniveau einer Person zu beurteilen. Sie soll jedoch nicht verwendet werden, um das Vorhandensein einer Gehirnerschütterung festzustellen [216]. Mit diesem Bewertungsinstrument muss jeder, der kein „A“ (waches Bewusstsein) erhält, sofort von einem Gesundheitsdienstleister beurteilt werden. Es ist kein geeignetes Instrument, das von Ersthelfern verwendet werden kann, um eine mögliche Gehirnerschütterung nach einer Kopfverletzung zu beurteilen.

2-stufige Bewertungsskalen für Gehirnerschütterungen

Das Immediate Post-Concussion Assessment and Cognitive Testing (ImPACT), das Standardized Assessment of Concussion (SAC), und das Sport Concussion Assessment Tool (aktuelle Version, SCAT5) wurden untersucht. Diese Skalen sind für die Verwendung durch geschulte Gesundheitsdienstleister konzipiert, die in der Lage sind, maßgebende Basisdaten zu ermitteln. Sie eignen sich nicht als einstufiges Bewertungssystem für die Erste Hilfe.

Thermische Verbrennungen

Kühlung von thermischen Verbrennungen

Der ILCOR CoSTR 2015 empfahl die sofortige Kühlung von Verbrennungen (starke Empfehlung, minderwertige Evidenz) [2, 3]. Das Kühlen von thermischen Verbrennungen minimiert die resultierende Tiefe der Verbrennung [217, 218] und verringert möglicherweise die Anzahl der Patienten, für deren Behandlung eine Krankenhauseinweisung erforderlich wäre [219]. Die anderen erkannten Vorteile der Kühlung sind Schmerzlinderung und Verringerung von Ödemen (Schwellungen), verringerte Infektionsraten und ein schnellerer Wundheilungsprozess. Es gibt keine wissenschaftlich fundierten Empfehlungen für eine spezifische Kühltemperatur oder eine Kühlmethode (z. B. Gelkissen, Kühlpackungen oder Wasser). Dieser CoSTR wurde 2020 nicht wiederholt.

In der ERC-Leitlinie 2015 wurde eine Kühlzeit von mindestens 10 min empfohlen, die als gefühlte Mindestkühldauer

angesehen wurde [1]. Obwohl es mehrere Studien zur Kühlung von Verbrennungen in Schweinemodellen gab [220–223], ist allgemein bekannt, dass die Unterschiede zwischen Schweine- und menschlicher Haut diese Befunde unzuverlässig machen [224]. Eine Modellstudie am Menschen hat anschließend gezeigt, dass eine Kühlung mit 16 °C über 20 min die Verletzung günstig beeinflusste [225].

Die ILCOR-Task Force gab bei der Erörterung ihres Scoping-Reviews 2019 über die Behandlung von Verbrennungen [4, 5] eine zusätzliche Empfehlung ab: Es ist ein bewährtes Vorgehen, Verbrennungen durch kühles oder kaltes (aber nicht eiskaltes) Wasser aktiv über mindestens 20 min zu kühlen. Die ERC-Leitlinie wurde diesbezüglich aktualisiert, um die empfohlene Kühlzeit für Verbrennungen auf mindestens 20 min zu verlängern. Der ERC erkennt an, dass dies in einigen Fällen in der Praxis eine Herausforderung darstellen kann. Wenn die Umstände es zulassen, fordert der ERC eindringlich, eine Kühlung durchzuführen.

Verbände bei thermischen Verbrennungen

Der ILCOR CoSTR 2015 verglich nasse und trockene Verbände bei Verbrennungsverletzungen. Er fand jedoch für beide Arten von Verbänden, bei thermischen Verbrennungen, keine unterstützenden Evidenzen für die präklinische Versorgung [2, 3]. Die nachfolgende ERC-Leitlinie empfahl als bevorzugte Maßnahme, eine Verbrennung lose mit sterilem Verbandsmaterial zu bedecken [1]. In einer anschließenden 2020-ILCOR-

Übersichtsprüfung wurden [4, 5] 1482 Zitierungen auf Erste-Hilfe-Verbände für oberflächliche thermische Verbrennungen untersucht. Die Überprüfung ergab, dass sich die meisten Veröffentlichungen auf die Behandlung von Teil- oder Vollverbrennungen im Krankenhaus (ILCOR First Aid CoSTR) konzentrierten und dass für die Erste-Hilfe-Behandlung von oberflächlichen Verbrennungen kein einzelner Brandverband vor allen anderen empfohlen werden konnte. Die Diskussionen der Arbeitsgruppe zeigten, dass nach dem

ersten Kühlen Frischhaltefolie verwendet werden kann, um die Wunde zu schützen, Hitze und Verdunstung zu reduzieren, Schmerzen zu lindern und die Wunde leichter sichtbar zu machen [226]. Es wurde auch festgestellt, dass das Infektionsrisiko durch die Verwendung von Frischhaltefolie äußerst gering war [227].

Zahnausfall durch Trauma

Der Ausfall bleibender Zähne ist eine der schwersten Zahnverletzungen und macht 0,6 bis 20,8% aller traumatischen Zahnverletzungen aus [228, 229]. Für eine gute Heilungsprognose soll der traumatisch ausgefallene Zahn so schnell wie möglich neu eingesetzt werden. Jedoch haben Ersthelfer wie Eltern [230] und Lehrer [231] keine Kenntnisse über die geeignete Notfallbehandlung eines Zahnausfalls. Dies führt zweifellos zu einer verzögerten Replantation und einer ausgedehnten Austrocknung des Zahns mit anschließender Nekrose des parodontalen Bands („periodontal ligament“, PDL), was nach und nach zum Verlust des Zahns führen kann [232]. Obwohl vorgeschlagen wurde, dass ein traumatisch ausgefallener Zahn an der Unfallstelle sofort neu eingesetzt wird, um die größte Überlebenschance für den Zahn zu erzielen, fehlen [233] Ersthelfern möglicherweise die erforderlichen Fähigkeiten und die Bereitschaft, diese schmerzhafteste Prozedur zu versuchen. Der Ersthelfer kann sich auch zu einer vorübergehenden Aufbewahrung des Zahns entscheiden, bis professionelle Hilfe verfügbar ist. Die Verwendung einer geeigneten temporären Aufbewahrungslösung oder -technik für einen traumatisch ausgefallenen Zahn soll die Replantationsbemühungen nicht verzögern. Sie kann jedoch dazu beitragen, die Lebensfähigkeit der PDL bei ausgefallenen Zähnen zu erhalten und das langfristige Überleben der Zähne zu verbessern, bis eine professionelle Behandlung eingeleitet werden kann. Dies drängt auf die Notwendigkeit, die für Laien effektivsten und zur Verfügung stehenden Aufbewahrungsmethoden für traumatisch ausgefallene Zähne zu ermitteln.

Diese Leitlinie basiert auf einer neuen systematischen Überprüfung für 2020, die von der ILCOR Arbeitsgruppe für Erste-Hilfe durchgeführt wurde [4, 5, 12]. Sie überprüfte die am besten verfügbaren Evidenzen für die Wirksamkeit jedweder Techniken, die Laien zur Aufbewahrung eines traumatisch ausgefallenen Zahns zur Verfügung stehen. Die Überprüfung geschah jeweils im Vergleich zur Aufbewahrung in Milch oder Speichel, was die derzeit am meisten empfohlenen Methoden für die vorübergehende Aufbewahrung im präklinischen Umfeld sind. Von 4118 Referenzen (Suchdatum September 2019) wurden 33 Studien eingeschlossen und über 23 Vergleiche berichtet, von denen 10 in einer Metaanalyse zusammengefasst wurden. Es wurde herausgefunden, dass die nachfolgenden Methoden eine höhere Wirksamkeit bei der Erhaltung der Lebensfähigkeit von Zahnzellen im Vergleich zu Milch zeigten: Salzlösungen nach Hanks/HBSS, Bienenharz, orale Rehydrierungslösung/ORS, Reiswasser oder Frischhaltefolie. Darüber hinaus wurde gezeigt, dass Kuhmilch (jede Form mit jedem Fettanteil) die Lebensfähigkeit der Zahnzellen vor der Replantation im Vergleich zu Kochsalzlösung, Leitungswasser, Buttermilch, Rizinusöl, Kurkumaextrakt und GC-Zahnschutzcreme (GC-Tooth Mousse®) verlängert. Es gibt keine ausreichenden Belege, um für oder gegen die vorübergehende Aufbewahrung eines traumatisch ausgefallenen Zahns in Speichel im Vergleich zu alternativen Lösungen zu empfehlen. Die Evidenz hat eine geringe bis sehr geringe Sicherheit aufgrund von Einschränkungen im Studiendesign, indirekten Studienpopulationen (extrahierte Zähne anstelle von traumatischen Zahnausfällen) und Ergebnismessungen (Zellebensfähigkeit als Maß für die Zahnlebensfähigkeit) sowie ungenauen Ergebnissen. Das führte zu schwachen Empfehlungen für die Verwendung von Aufbewahrungstechniken für den traumatisch ausgefallenen Zahn, sofern eine sofortige Replantation nicht möglich ist [12].

Kompressionsverbände für geschlossene Gelenkverletzungen an Extremitäten

Die Verstauchung des lateralen Sprunggelenks ist eine häufige geschlossene Gelenkverletzung, die von Ersthelfern versorgt wird [234, 235]. In den Vereinigten Staaten (USA) treten schätzungsweise 23.000 bis 27.000 Sprunggelenkverstauchungen pro Tag auf [236, 237]. Die Notaufnahmen im Vereinigten Königreich behandeln ungefähr 52,7 Sprunggelenkverstauchungen pro 10.000 Menschen [238]. Bei Menschen mit einem sitzenden Lebensstil kann dies weniger störend sein. Dennoch können diese Verletzungen für Sportler und diejenigen, die in körperlich anspruchsvolleren Berufen arbeiten, lebenslange kritische Auswirkungen haben [239].

Für die Behandlung einfacher akuter Verletzungen des geschlossenen Gelenks im präklinischen, Krankenhaus- und Grundversorgungsbereich sind verschiedene Akronyme bekannt, z. B. *RICE* (entweder „Rest/Ruhe, Immobilization/Immobilisierung [erfordert Kompression], Cold/Kälte und Elevation/Lageerhöhung“ oder „Rest/Ruhe, Ice/Eis, Compression/Kompression, Elevation/Lageerhöhung“), *PRICE* (Hinzufügen von „Protection/Schutz“ zu *RICE*) oder *POLICE* (Protection/Schutz, Optimal Loading/optimale Belastung, Ice/Eis, Compression/Kompression, Elevation/Lageerhöhung [240]). In jüngerer Zeit wurde *PEACE & LOVE* eingeführt (Protection/Schutz, Elevation/Lageerhöhung, Avoid anti-inflammatories/Vermeidung von Entzündungshemmern, Compression/Kompression, Education/Bildung & Load/Belastung, Optimism/Optimismus, Vascularization/Vaskularisation, Exercise/Übung) [241], wobei *PEACE* sich auf die präklinische Versorgung bezieht, während *LOVE* die Behandlung in den folgenden Tagen darstellt. Alle diese Akronyme haben als gemeinsames Merkmal eine Kompressionsbehandlung.

Eine neue systematische Überprüfung für 2020 wurde von der ILCOR Arbeitsgruppe für Erste-Hilfe durchgeführt, in der die am besten verfügbaren Belege für die Verwendung eines Kom-

pressionsverbands zur Behandlung von geschlossenen Gelenkverletzungen an den Extremitäten überprüft wurden [4, 5]. Insgesamt wurden 1193 Referenzen identifiziert, von denen schließlich sechs randomisierte, kontrollierte Studien [239, 242–246] und zwei nicht-randomisierte, kontrollierte Versuche [247, 248] eingeschlossen wurden. Beim Vergleich eines Kompressionsverbands ohne Kompression (Nichtanwendung der Kompression oder das Tragen von nichtkomprimierenden Strümpfen, einer Schiene oder einer Orthese [Air-Stirrup®-Knöchelorthese]) konnte kein Nutzen für eine Schmerzreduktion, das Freisein von Gehschmerzen, Ruheschmerzen, Schmerzen beim Gehen und eine Verringerung von Schwellungen oder Ödemen gezeigt werden [239, 242, 244, 246–248]. Bei der Verwendung eines Kompressionsverbands im Vergleich zu einer Knöchelorthese konnte ebenfalls kein Nutzen für den Bewegungsbereich und die Heilungszeit nachgewiesen werden [243, 245]. In einer Studie [245] wurde beim Vergleich der Kompressionsbandage mit einer Air-Stirrup®-Knöchelorthese weniger Nutzen für die Zeit bis zur Rückkehr zur Arbeit gezeigt, während in zwei anderen Studien [239, 242] ein Unterschied nicht nachgewiesen werden konnte. Schließlich zeigte eine randomisierte, kontrollierte Studie [242] einen Vorteil für die Zeitdauer, um wieder Sport treiben zu können, wenn ein Kompressionsverband verwendet wurde, im Vergleich mit nichtkomprimierenden Strümpfen. Zusammenfassend konnte für keinen der untersuchten Sachverhalte ein eindeutig positiver Effekt nachgewiesen werden. Alle Evidenzen sind aufgrund von Einschränkungen im Studiendesign, der indirekten Studienpopulation (alle Studien wurden in einem Krankenhaus durchgeführt) und ungenauen Ergebnissen von geringer bis sehr geringer Sicherheit [11].

Die 2020-ILCOR Arbeitsgruppe für Erste-Hilfe CoSTR gab eine neutrale Empfehlung ab, die entweder die Anwendung eines Kompressionsverbands oder die Nichtanwendung eines Kompressionsverbands für Erwachsene mit einer akuten geschlossenen Verletzung

des Sprunggelenks vorschlug (schwache Empfehlung, sehr geringe Sicherheit) [4, 5, 11]. Darüber hinaus konnte die Task Force aufgrund fehlender Evidenzen keine Empfehlung für oder gegen die Verwendung eines Kompressionsverbands für andere geschlossene Verletzungen von Gelenken, abgesehen von Knöchelverletzungen, empfehlen. Die Task Force stellte fest, dass alle Studien in Krankenhäusern durchgeführt wurden und keine von außerhalb stammten. Sie stellte ebenfalls fest, dass möglicherweise eine spezielle Schulung erforderlich ist, um einen Kompressionsverband sicher und effektiv an einem verletzten Gelenk anbringen zu können [4, 5, 11].

Reponieren von Frakturen mit Fehlstellung

Knochenbrüche, Verrenkungen, Verstauchungen und Zerrungen gehören zu den am häufigsten von Ersthelfern versorgten Extremitätenverletzungen. Das Erste-Hilfe-Management von Frakturen beginnt mit der manuellen Stabilisierung der Fraktur, gefolgt von einer Schienung in der aufgefundenen Position. Mit der Schienung müssen die Gelenke ober- und unterhalb der Bruchstelle ruhiggestellt werden. Damit wird der verletzte Bereich vor Bewegungen geschützt und Schmerzen verhindert oder reduziert. Die Gefahr, eine geschlossene Fraktur in eine offene zu überführen, wird vermindert. Lange Knochenbrüche, insbesondere des Beins oder des Unterarms, können bei der Auffindung fehlgestellt sein. Eine starke Fehlstellung kann die Möglichkeiten einschränken, eine Extremität richtig zu schienen oder die verletzte Person zu bewegen.

Dieses Thema wurde 2015 überprüft. Es wurden jedoch keine veröffentlichten Daten gefunden, die die Verwendung von Schienen zur Immobilisierung der verletzten Extremität unterstützen [2, 3]. Eine im Jahr 2020 durchgeführte Evidenzaktualisierung ergab ebenfalls keine veröffentlichten Studien. Daher bleibt die Leitlinie für 2020 dieselbe wie für 2015.

Der gesunde Menschenverstand und die Meinung von Experten unterstützen die Verwendung einer Schiene zur Im-

mobilisierung einer Extremitätenfraktur (Good Practice Statement).

Reponieren Sie die fehlgestellte Fraktur nicht gerade aus, sondern fixieren Sie sie in der Position, in der Sie mit möglichst wenig Bewegungen die Schiene anbringen können (Good Practice Statement).

In einigen Fällen tritt eine Extremitätenfraktur mit starker Fehlstellung auf, was das Anlegen einer Schiene und den Transport äußerst schwierig oder unmöglich macht. Eine starke Fehlstellung kann auch die Gefäßversorgung der distalen Extremität beeinträchtigen (kein peripherer Puls, distal zur Fraktur). In diesen Fällen kann der Ersthelfer die Unterstützung durch medizinisches Fachpersonal anfordern. Dieses kann eine Frakturneuaustrichtung durchführen, um die Schienung zu erleichtern und einen distalen Gefäßkreislauf wiederherzustellen, bevor der Transport in ein Krankenhaus erfolgt.

Augenverletzung durch chemische Einwirkung

Unfälle mit Augenverletzungen durch chemische Substanzen sind ein häufiges Problem im häuslichen Bereich und in der Industrie. Oft lässt sich die Substanz nicht genau benennen.

Der ILCOR CoSTR von 2015 schlug vor, dass Ersthelfer kontinuierlich große Mengen sauberes Wasser zur Spülung chemischer Augenverletzungen verwenden sollen (schwache Empfehlung, sehr minderwertige Evidenz). Diese Empfehlung wurde für alkalische pH-Lösungen gegeben, die in das Auge gelangen, und bestand nur für die Spülbehandlung [2, 3]. Die Empfehlung wurde aus einer Einzeltierstudie belegt, die eine Verringerung des hohen alkalischen pH-Werts durch Spülung mit Wasser zeigte. Bei Verwendung gleicher Wassermengen aus 0,9%iger Kochsalzlösung wurde kein Unterschied in der maximalen Alkalität festgestellt. Dieses Thema wurde 2020 nicht behandelt.

Eine alkalische Verletzung der Hornhaut verursacht schwere Hornhautschäden und birgt das Risiko einer Erblindung [1–3]. Im Gegensatz dazu verursachen saure Substanzen eine Proteinkoagulation

im Epithel, ein Prozess, der das weitere Eindringen in das Auge begrenzt [249]. Die Spülung mit großen Wassermengen war bei der Verbesserung des Hornhaut-pH-Werts wirksamer als die Verwendung geringer Mengen oder die Spülung mit Kochsalzlösung [250]. Es wurde vorgeschlagen, Lösungen wie Ringer-Laktat (LR) oder balancierte Salzlösungen (BSS), oder in industriellen Umgebungen amphotere hypertonische Lösungen (z. B. Diphoterin), als die bevorzugte Option für eine Notfallneutralisierung zu verwenden [249]. Die Wahl der wässrigen Lösung ist jedoch von geringerer prognostischer Bedeutung als der Zeitpunkt der Behandlung, und Verzögerungen bei der Spülung sollen vermieden werden. Zusätzlich zur versehentlichen und beruflichen Exposition ist die Anzahl der Patienten als Betroffene gewaltsamer Übergriffe, durch Angriffe mit Säure im Gesicht, angestiegen. Diese Taten führen zu lebensverändernden Haut- und Augenverletzungen, was die Erwägung zusätzlicher Betreuungsmaßnahmen erforderlich machen kann [251].

Korrespondenzadresse

David A. Zideman
Thames Valley Air Ambulance
Stokenchurch, Großbritannien
vandenesch@grc-org.de

Korrespondierender Übersetzer
Dr. med. R. Peter Vandenesch, DEAA
German Resuscitation Council
c/o. Universitätsklinikum Ulm, Sektion Notfallmedizin
Prittowitzstraße 43,
89070 Ulm,
vandenesch@grc-org.de

Danksagung. Die Übersetzung dieses Kapitels wurde von Dr. med. R. Peter Vandenesch, DEAA und Stefan Osche M.A. geleistet.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. A.J. Handley declared his role of medical advisor British Airways and medical director of Places for People. D.A. Zideman, E.M. Singletary, V. Borra, P. Cassan, C.D. Cimpoesu, E. De Buck, B. Klaassen, D. Meyran und E. Oliver declare that they have no competing interests. [Stand 10.5.2020, Originalartikel in Resuscitation]

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

- Zideman DA, De Buck EDJ, Singletary EM, Cassan P, Chalkias AF, Evans TR, Hafner CM, Handley AJ, Meyran D, Schunder-Tatzber S, Vandekerckhove PG (2015) European resuscitation council guidelines for resuscitation 2015 section 9. first aid. *Resuscitation* 95:278–287
- Zideman DA, Singletary EM, De Buck EDJ, Chang WT, Jensen JL, Swain JM, Woodin JA, Blanchard IE, Herrington RA, Pellegrino JL, Hood NA, Lojero-Wheatley LF, Markenson DS, Yang HJ, First Aid Chapter Collaborators (2015) Part 9: first aid: 2015 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 95:e225
- Singletary EM, Zideman DA, De Buck EDJ, Chang WT, Jensen JL, Swain JM, Woodin JA, Blanchard IE, Herrington RA, Pellegrino JL, Hood NA, Lojero-Wheatley LF, Markenson DS, Yang HJ, First Aid Chapter Collaborators (2015) Part 9: first aid: 2015 international consensus on first aid science with treatment recommendations. *Circulation* 132(suppl 1):S269–S311
- Singletary EM, Zideman DA, Bendall JC, Berry DC, Borra V, Carlson JN, Cassan P, Chang W-T, Charlton NP, Djärv T, Douma MJ, Epstein JL, Hood NA, Markenson DS, Meyran D, Orkin AM, Sakamoto T, Swain JM, Woodin JA, First Aid Science Collaborators (2020) 2020 international consensus on first aid science with treatment recommendations. *Resuscitation*. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.09.016>
- Singletary EM, Zideman DA, Bendall JC, Berry DC, Borra V, Carlson JN, Cassan P, Chang W-T, Charlton NP, Djärv T, Douma MJ, Epstein JL, Hood NA, Markenson DS, Meyran D, Orkin AM, Sakamoto T, Swain JM, Woodin JA, First Aid Science Collaborators (2020) 2020 international consensus on first aid science with treatment recommendations. *Circulation* 142(suppl 1):S284–S334. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000897>
- Markenson D, Ferguson JD, Chameides L, Cassan CKL, Epstein J, Gonzales L, Herrington RA, Pellegrino JL, Ratcliff N, Singer A (2010) Part 17: first aid 2010 American Heart Association and American red cross guidelines for first aid. *Circulation* 122:S934–S946
- Jensen JL, Ohshimo S, Cassan P, Meyran D, Greene J, Ng KC, Singletary E, Zideman D (2020) Immediate interventions for presyncope of vasovagal or orthostatic origin: a systematic review. *Prehosp Emerg Care* 24:64–76
- De Buck E, Borra V, Carlson JN, Zideman DA, Singletary EM, Djärv T (2019) First aid glucose administration routes for symptomatic hypoglycaemia. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013283.pub2>
- Djarv T, Swain JM, Chang W, Zideman DA, Singletary E (2020) Early or first aid administration versus late or in-hospital administration of aspirin for non-traumatic adult chest pain: a systematic review. *Cureus* 12(2):e6862
- Douma MJ, Alba KS, Bendall JC, Berry DC, Wei-Tien C, Epstein J, Hood N, Singletary EM, Zideman D, Lin S (2020) First aid cooling techniques for heat stroke and exertional hyperthermia: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 148:173–190
- Borra V, Berry DC, Zideman D, Singletary E, De Buck E (2020) Compression wrapping for acute closed extremity joint injuries: a systematic review. *J Athl Train* 55(8):789–800
- De Brier N, Dorien O, Borra V, Singletary EM, Zideman DA, De Buck E, International Liaison Committee on Resuscitation First Aid Task Force (2020) Storage of an avulsed tooth prior to replantation: A systematic review and meta-analysis. *Dent Traumatol* 36:453–476
- Meyran D, Cassan P, Avau B, Singletary EM, Zideman DA (2020) Stroke recognition for first aid providers: a systematic review and meta-analysis. *Cureus* 12(11):e11386. <https://doi.org/10.7759/cureus.11386>
- Perkins GD, Gräsner J-T, Semeraro F et al (2021) Kurzfassung. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00883-z>
- Lott C, Truhlär A, Alfonso A et al (2021) Kreislaufstillstand unter besonderen Umständen. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021 Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00891-z>
- Lott C, Truhlär A, Alfonso A et al. (2021) Kreislaufstillstand unter besonderen Umständen. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00891-z>
- Freire-Tellado M, del Pavón-Prieto MP, Fernández-López M, Navarro-Patón R (2016) Does the recovery position threaten cardiac arrest victim's safety assessment? *Resuscitation* 105:e1
- Freire-Tellado M, Navarro-Patón R, del Pavón-Prieto MP, Fernández-López M, Mateos-Lorenzo J, López-Fórneas I (2017) Does lying in the recovery position increase the likelihood of not delivering cardiopulmonary resuscitation? *Resuscitation* 115:173–177
- Navarro-Patón R, Freire-Tellado M, Fernández-González N, Basanta-Camiño S, Mateos-Lorenzo J, Lago-Ballesteros J (2019) What is the best position to place and re-evaluate an unconscious but normally breathing victim? A randomised controlled human simulation trial on children. *Resuscitation* 134:104–109
- Julliard S, Desmarest M, Gonzalez L, Ballesteros Y, Martinez A, Moretti R, Rivas A, Lacroix L, Biver A, Lejay E, Kanagarajah L, Portillo N, Cricchiutti G, Stefani C, Da Dalt L, Spiri D, Van De Voorde P, Titomanlio L (2016) Recovery position significantly associated with a reduced admission rate of children with loss of consciousness. *Arch Dis Child* 101:521–526
- Arai Y-CP, Fukunaga K, Hirota S, Fujimoto S (2004) The effects of chin lift and jaw thrust while in the lateral position on stridor score in anesthetized children with adenotonsillar hypertrophy. *Anesth Analg* 99(6):1638–1641
- Arai Y-CP, Fukunaga K, Ueda W, Hamada M, Ikenaga H, Fukushima K (2005) The endoscopically measured effects of airway maneuvers and the lateral position on airway patency in anesthetized children with Adenotonsillar hypertrophy. *Anesth Analg* 100:949–952
- Litman RS, Wake N, Chan LML, McDonough JM, Sin S, Mahboubi S, Arens R (2005) Effect of lateral positioning on upper airway size and morphology in sedated children. *Anesthesiology* 103(3):484–488
- Svatikova A, Chervin RD, Wing JJ, Sanchez BN, Migda EM, Brown DL (2011) Positional therapy in ischemic stroke patients with obstructive sleep apnoea. *Sleep Med* 12:262–266
- Turkington PM, Bamford J, Wanklyn P, Elliott MW (2002) Prevalence and predictors of upper airway obstruction in the first 24 hours after acute stroke. *Stroke* 33:2037–2042
- Adnet F, Borron SW, Finot M-A, Minadeo J, Baud FJ (1999) Relation of body position at the time of discovery with suspected aspiration pneumonia in poisoned comatose patients. *Crit Care Med* 27:745–748
- Wong DH, O'Connor D, Tremper KK, Zaccari J, Thompson P, Hill D (1989) Changes in cardiac output after acute blood loss and position change in man. *Crit Care Med* 17:979–983
- Jabot J, Teboul JK, Richard C, Monnet X (2009) Passive leg raising for predicting fluid responsiveness: importance of postural change. *Intensive Care Med* 35:89–90
- Gaffney FA, Bastian BC, Thal ER, Atkins JM, Blomqvist CG (1982) Passive leg raising does not produce a significant or sustained autotransfusion effect. *J Trauma* 22:190–193
- Toppen W, Aquije Montoya E, Ong S, Markovic D, Kao Y, Xu X, Chiem A, Cannesson M, Berlin D, Barjaktarevic I (2020) Passive leg raise: feasibility and safety of the maneuver in patients with undifferentiated shock. *J Intensive Care Med* 35(10):1123–1128
- Bentur L, Canny GJ, Shields MD et al (1992) Controlled trial of nebulized albuterol in children younger than 2 years of age with acute asthma. *Pediatrics* 89:133–137
- van der Woude HJ, Postma DS, Politiek MJ, Winter TH, Aalbers R (2004) Relief of dyspnoea by beta2-agonists after methacholine-induced bronchoconstriction. *Respir Med* 98:816–820
- Littner MR, Tashkin DP, Siegel SC, Katz R (1983) Double-blind comparison of acute effects of inhaled albuterol, isoproterenol and placebo on cardiopulmonary function and gas exchange in asthmatic children. *Ann Allergy* 50:309–316
- Karpel JP, Aldrich TK, Prezant DJ, Gugucyev K, Gaitan-Salas A, Pathiparti R (1997) Emergency treatment of acute asthma with albuterol metered-dose inhaler plus holding chamber: how often should treatments be administered? *Chest* 112:348–356
- Berger WE, Milgrom H, Skoner DP et al (2006) Evaluation of levalbuterol metered dose inhaler in pediatric patients with asthma: a double-blind, randomized, placebo and active-controlled trial. *Curr Med Res Opin* 22:1217–1226
- Politiek MJ, Boersma M, Aalbers R (1999) Comparison of formoterol, salbutamol and salmeterol in methacholine-induced severe bronchoconstriction. *Eur Respir J* 13:988–992
- Hermansen MN, Nielsen KG, Buchvald F, Jespersen JJ, Bengtsson T, Bisgaard H (2006) Acute relief of exercise-induced bronchoconstriction by inhaled formoterol in children with persistent asthma. *Chest* 129(5):1203–1209
- Amirav I, Yacobov R, Luder AS (2007) Formoterol turbobalmer is as effective as salbutamol diskus in relieving adenosine-induced bronchoconstriction in children. *J Aerosol Med* 20:1–6
- Emerman CL, Shade B, Kubincanek J (1990) A controlled trial of nebulized isoetharine in the prehospital treatment of acute asthma. *Am J Emerg Med* 8:512–514
- Weiss SJ, Anand P, Ernst AA, Orgeron D, May WL (1994) Effect of out-of-hospital albuterol inhalation treatments on patient comfort and morbidity. *Ann Emerg Med* 24:873–878
- Osmond MH, Klassen TP (1995) Efficacy of ipratropium bromide in acute childhood asthma: a meta-analysis. *Acad Emerg Med* 2:651–656
- Mortality GBD, Causes of Death C (2016) Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249

- causes of death, 1980–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet* 388:1459–1544
43. Bracard S, Ducrocq X, Mas J-L, Soudant M, Oppenheim C, Moulin T et al (2016) Mechanical thrombectomy after intravenous alteplase versus alteplase alone after stroke (THRACE): a randomised controlled trial. *Lancet Neurol* 15:1138–1147
 44. Emberson J, Lees KR, Lyden P, Blackwell L, Albers G, Bluhmki E et al (2014) Effect of treatment delay, age, and stroke severity on the effects of intravenous thrombolysis with alteplase for acute ischaemic stroke: a meta-analysis of individual patient data from randomised trials. *Lancet* 384:1929–1935
 45. Saver JL, Goyal M, van der Lugt A, Menon BK, Majoie CBLM, Dippel DW et al (2016) Time to treatment with endovascular thrombectomy and outcomes from Ischemic stroke: a meta-analysis. *JAMA* 316:1279–1288
 46. Lin CB, Peterson ED, Smith EE, Saver JL, Liang L, Xian Y et al (2012) Emergency medical service hospital prenotification is associated with improved evaluation and treatment of acute ischemic stroke. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 5:514–522
 47. Medoro I, Cone DC (2017) An Analysis of EMS and ED Detection of Stroke. *Prehosp Emerg Care* 21:476–480
 48. Schlemm E, Ebinger M, Nolte CH, Endres M, Schlemm L (2017) Optimal transport destination for ischemic stroke patients with unknown vessel status: use of prehospital triage scores. *Stroke* 48:2184–2191
 49. Chenkin J, Gladstone DJ, Verbeek PR, Lindsay P, Fang J, Black SE et al (2009) Predictive value of the ontario prehospital stroke screening tool for the identification of patients with acute stroke. *Prehosp Emerg Care* 13:153–159
 50. Iguchi Y, Kimura K, Watanabe M, Shibazaki K, Aoki J (2011) Utility of the Kurashiki prehospital stroke scale for hyperacute stroke. *Cerebrovasc Dis* 31:51–56
 51. O'Brien W, Crimmins D, Donaldson W, Risti R, Clarke TA, Whyte S et al (2012) FASTER (Face, Arm, Speech, Time, Emergency Response): experience of Central Coast Stroke Services implementation of a prehospital notification system for expedient management of acute stroke. *J Clin Neurosci* 19:241–245
 52. Wojner-Alexandrov AW, Alexandrov AV, Rodriguez D, Persse D, Grotta JC (2005) Houston paramedic and emergency stroke treatment and outcomes study (HoPSTO). *Stroke* 36:1512–1518
 53. Harbison J, Hossain O, Jenkinson D, Davis J, Louw SJ, Ford GA (2003) Diagnostic accuracy of stroke referrals from primary care, emergency room physicians, and ambulance staff using the face arm speech test. *Stroke* 34:71–76
 54. Zhelev Z, Walker G, Henschke N, Fridhandler J, Yip S (2019) Prehospital stroke scales as screening tools for early identification of stroke and transient ischemic attack. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011427.pub2>
 55. Asimos AW, Ward S, Brice JH, Rosamond WD, Goldstein LB, Studnek J (2014) Out-of-hospital stroke screen accuracy in a state with an emergency medical services protocol for routing patients to acute stroke centers. *Ann Emerg Med* 64:509–515
 56. Bergs J, Sabbe M, Moons P (2010) Prehospital stroke scales in a Belgian prehospital setting: a pilot study. *Eur J Emerg Med* 17:2–6
 57. Bray JE, Martin J, Cooper G, Barger B, Bernard S, Bladin C (2005) Paramedic identification of stroke: community validation of the melbourne ambulance stroke screen. *Cerebrovasc Dis* 20:28–33
 58. Chen S, Sun H, Lei Y, Gao D, Wang Y, Wang Y et al (2013) Validation of the Los Angeles prehospital stroke screen (LAPSS) in a Chinese Urban emergency medical service population. *Plos One* 8:e70742
 59. Kidwell CS, Starkman S, Eckstein M, Weems K, Saver JL (2000) Identifying stroke in the field. Prospective validation of the Los Angeles prehospital stroke screen (LAPSS). *Stroke* 31:71–76
 60. Bray JE, Coughlan K, Barger B, Bladin C (2010) Paramedic diagnosis of stroke: examining long-term use of the Melbourne Ambulance Stroke Screen (MASS) in the field. *Stroke* 41:1363–1366
 61. Elwood PC, Williams WO (1979) A randomised controlled trial of aspirin in the prevention of early mortality in myocardial infarction. *J R Coll Gen Pract* 29:413–416
 62. Frilling B, Schiele R, Gitt AK (2001) Characterisation and clinical course of patients not receiving aspirin for acute myocardial infarction: results from the MITRA and MIR studies. *Am Heart J* 141:200–205
 63. ISIS-2 (Second International Study of Infarct Survival) Collaborative Group Randomised trial of intravenous streptokinase oral aspirin both, or neither among 17,187 cases of suspected acute myocardial infarction. *The Lancet*. 1988;2:349–360.
 64. Verheugt FW, van der Laarse A, Funke-Kupper AJ, Sterkman LG, Galema TW, Roos JP (1990) Effects of early intervention with low-dose aspirin (100 mg) on infarct size, reinfarction and mortality in anterior wall acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 66:267–270
 65. Freimark D, Matetzky S, Leor J, Boyko V, Barbash IM, Behar S, Hod H (2002) Timing of aspirin administration as a determinant of survival of patients with acute myocardial infarction treated with thrombolysis. *Am J Cardiol* 89:381–385
 66. Barbash I, Freimark D, Gottlieb S, Hod H, Hasin Y, Battler A, Crystal E, Matetzky S, Boyko V, Mandelzweig L, Behar S, Leor J (2002) Outcome of myocardial infarction in patients treated with aspirin is enhanced by prehospital administration. *Cardiology* 98:141–147
 67. Quan D, LoVecchio F, Clark B, Gallagher JV (2004) Prehospital use of aspirin rarely is associated with adverse events. *Prehosp Disaster Med* 19:362–365
 68. Simonsson M, Wallentin L, Alfredsson J, Erlinge D, Hellström Ångerud K, Hofmann R, Kellerth T, Lindhagen L, Ravn-Fischer A, Szummer K, Ueda P, Yndigegn T, Jernberg T (2020) Temporal trends in bleeding events in acute myocardial infarction: insights from the SWEDEHEART registry. *Eur Heart J* 41:833–843
 69. Inoue N, Yamamoto A (2013) Clinical evaluation of pediatric anaphylaxis and the necessity for multiple doses of epinephrine. *Asia Pac Allergy* 3:106–114
 70. Järvinen KM, Sicherer SH, Sampson HA, Nowak-Wegrzyn A (2008) Use of multiple doses of epinephrine in food-induced anaphylaxis in children. *J Allergy Clin Immunol* 122:133–138
 71. Noimark L, Wales J, Du Toit G et al (2012) The use of adrenaline auto-injectors by children and teenagers. *Clin Exp Allergy* 42:28492
 72. Korenblat P, Lundie MJ, Dankner RE, Day JH (1999) A retrospective study of epinephrine administration for anaphylaxis: how many doses are needed? *Allergy Asthma Proc* 20:383–386
 73. Oren E, Banerji A, Clark S, Camargo CA Jr (2007) Food-induced anaphylaxis and repeated epinephrine treatments. *Ann Allergy Asthma Immunol* 99:429–432
 74. Banerji A, Rudders SA, Corel B, Garth AM, Clark S, Camargo CA Jr (2010) Repeat epinephrine treatments for food-related allergic reactions that present to the emergency department. *Allergy Asthma Proc* 31:308–316
 75. Rudders SA, Banerji A, Corel B, Clark S, Camargo CA Jr (2010) Multicenter study of repeat epinephrine treatments for food-related anaphylaxis. *Pediatrics* 125:e711–e718
 76. Järvinen KM, Sicherer SH, Sampson HA, Nowak-Wegrzyn A (2008) Use of multiple doses of epinephrine in food-induced anaphylaxis in children. *J Allergy Clin Immunol* 122:133–138
 77. Rudders SA, Banerji A, Katzman DP, Clark S, Camargo CA Jr (2010) Multiple epinephrine doses for stinging insect hypersensitivity reactions treated in the emergency department. *Ann Allergy Asthma Immunol* 105:85–93
 78. Carlson JN, Cook S, Djarv T et al (2020) Second dose of epinephrine for anaphylaxis in the first aid setting: a scoping review. *Cureus* 12(11):e11401. <https://doi.org/10.7759/cureus.11401>
 79. Brockow K, Schallmayer S, Beyer K et al (2015) Effects of a structured educational intervention on knowledge and emergency management in patients at risk for anaphylaxis. *Allergy* 70:227–235
 80. Litarowsky JA, Murphy SO, Canham DL (2004) Evaluation of an anaphylaxis training program for unlicensed assistive personnel. *J Sch Nurs* 20:279–284
 81. Ostenson CG, Geelhoed-Duijvestijn P, Lahtela J et al (2014) Self-reported non-severe hypoglycaemic events in Europe. *Diabet Med* 31:92–101
 82. Sako A, Yasunaga H, Matsui H et al (2017) Hospitalization with hypoglycaemia in patients without diabetes mellitus: A retrospective study using a national inpatient database in Japan. *Medicine* 96(25):e7271
 83. Rostykus P, Kenne J, Adair K et al (2016) Variability in the treatment of prehospital hypoglycaemia: a structured review of EMS protocols in the United States. *Prehosp Emerg Care* 20(4):524–530
 84. Carlson JN, Schunder-Tatzber S, Neilson CJ et al (2017) Dietary sugars versus glucose tablets for first-aid treatment of symptomatic hypoglycaemia in awake patients with diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Emerg Med J* 34(2):100–106
 85. Kenefick RW, Sawka MN (2007) Heat exhaustion and dehydration as causes of marathon collapse. *Sports Med* 37:378–381
 86. Crandall CG, González-Alonso J (2010) Cardiovascular function in the heat-stressed human. *Acta Physiol* 199:407–423
 87. Adams WM, Ferraro EM, Huggins RA, Casa DJ (2014) Influence of body mass loss on changes in heart rate during exercise in the heat: a systematic review. *J Strength Cond Res* 28:2380–2389
 88. Masento NA, Golightly M, Field DT, Butler LT, van Reekum CM (2014) Effects of hydration status on cognitive performance and mood. *Br J Nutr* 111:1841–1852
 89. Savoie FA, Kenefick RW, Ely BR et al (2015) Effect of hypohydration on muscle endurance, strength, anaerobic power and capacity and vertical jumping ability: a meta-analysis. *Sports Med* 45:1207–1227
 90. Carter R, Chevront SN, Vernieuw CR, Sawka MN (2006) Hypohydration and prior heat stress 360 exacerbates decreases in cerebral blood flow velocity during standing. *J Appl Physiol* 101:1744–1750

91. Carter R (2008) Exertional heat illness and hyponatremia: an epidemiological prospective. *Curr Sport Med Rep* 7:520–527
92. Osterberg KL, Pallardy SE, Johnson RJ, Horswill CA (2010) Carbohydrate exerts a mild influence on fluid retention following exercise-induced dehydration. *J Appl Physiol* 108:245–250
93. James LJ, Mears SA, Shirreffs SM (2015) Electrolyte supplementation during severe energy restriction increases exercise capacity in the heat. *Eur J Appl Physiol* 115:2621–2629
94. Thomas DT, Erdman KA, Burke LM (2016) American college of sports medicine joint position statement. Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 48:543–568
95. Volterman KA, Obeid J, Wilk B et al (2014) Effect of milk consumption on rehydration in youth following exercise in the heat. *Appl Physiol Nutr Metab* 39:1257–1264
96. Niksefat M, Akbari-Fakhrabadi M, Mousavi Z et al (2019) Yogurt drink effectively rehydrates athletes after a strenuous exercise session. *Acta Med Bulg* 46:43–49
97. Chang CQ, Chen YB, Chen ZM, Zhang LT (2010) Effects of a carbohydrate–electrolyte beverage on blood viscosity after dehydration in healthy adults. *Chin Med J* 123:3220–3225
98. Ismail I, Singh R, Sirisinghe RG (2007) Rehydration with sodium-enriched coconut water after exercise-induced dehydration. *Southeast Asian J Trop Med Public Health* 38:769–785
99. Perez-Idarraga A, Aragon-Vargas LF (2014) Postexercise rehydration: potassium-rich drinks versus water and a sports drink. *Appl Physiol Nutr Metab* 39:1167–1174
100. González-Alonso J, Heaps CL, Coyle EF (1992) Rehydration after exercise with com-mon beverages and water. *Int J Sports Med* 13:399–406
101. Seifert J, Harmon J, DeClercq P (2006) Protein added to a sports drink improves fluid retention. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 16:420–429
102. Wong SH, Chen Y (2011) Effect of a carbohydrate–electrolyte beverage, lemon tea, or water on rehydration during short-term recovery from exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 21:300–310
103. Seery S, Jakeman P (2016) A metered intake of milk following exercise and thermal dehydration restores whole-body net fluid balance better than a carbohydrate–electrolyte solution or water in healthy young men. *Br J Nutr* 116:1013–1021
104. Shirreffs SM, Watson P, Maughan RJ (2007) Milk as an effective post-exercise rehydration drink. *Br J Nutr* 98:173–180
105. Wijnen AH, Steennis J, Catoire M et al (2016) Post-exercise rehydration: effect of consumption of beer with varying alcohol content on fluid balance after mild dehydration. *Front Nutr* 3:45
106. Saat M, Singh R, Sirisinghe RG, Nawawi M (2002) Rehydration after exercise with fresh young coconut water, carbohydrate–electrolyte beverage and plain water. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci* 21:93–104
107. Kalman DS, Feldman S, Krieger DR, Bloomer RJ (2012) Comparison of coconut water and a carbohydrate–electrolyte sport drink on measures of hydration and physical performance in exercise-trained men. *J Int Soc Sports Nutr* 9:1
108. Wong SH, Williams C, Adams N (2000) Effects of ingesting a large volume of carbohydrate–electrolyte solution on rehydration during recovery and subsequent exercise capacity. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 10:375–393
109. Evans GH, James LJ, Shirreffs SM et al (2017) Optimizing the restoration and maintenance of fluid balance after exercise-induced dehydration. *J Appl Physiol* 122:945–951
110. Lau WY, Kato H, Nosaka K (2019) Water intake after dehydration makes muscles more susceptible to cramp but electrolytes reverse that effect. *BMJ Open Sport Exerc Med* 5:e478
111. Flores-Salamanca R, Aragon-Vargas LF (2014) Postexercise rehydration with beer impairs fluid retention, reaction time, and balance. *Appl Physiol Nutr Metab* 39:1175–1181
112. Jimenez-Pavon D, Cervantes-Borunda MS, Diaz LE et al (2015) Effects of a moderate intake of beer on markers of hydration after exercise in the heat: a crossover study. *J Int Soc Sports Nutr* 12:26
113. Matias A, Dudar M, Kauzlaric J et al (2019) Rehydrating efficacy of maple water after exercise-induced dehydration. *J Int Soc Sports Nutr* 16:5
114. Utter AC, Quindry JC, Emerenziani GP et al (2010) Effects of rooibos tea, bottled water, and a carbohydrate beverage on blood and urinary measures of hydration after acute dehydration. *Res Sports Med* 18:85–96
115. Weidman J, Holsworth RE Jr., Brossman B et al (2016) Effect of electrolyzed high-pH alkaline water on blood viscosity in healthy adults. *J Int Soc Sports Nutr* 13:45
116. Harris PR, Keen DA, Constantopoulos E et al (2019) Fluid type influences acute hydration and muscle performance recovery in human subjects. *J Int Soc Sports Nutr* 16(1):15
117. Keen DA, Constantopoulos E, Konhilas JP (2016) The impact of post-exercise hydration with deep-ocean mineral water on rehydration and exercise performance. *J Int Soc Sports Nutr* 13:17
118. Valiente JS, Utter AC, Quindry JC et al (2009) Effects of commercially formulated water on the hydration status of dehydrated collegiate wrestlers. *J Strength Cond Res* 23:2210–2216
119. McKenna ZJ, Gillum TL (2017) Effects of exercise induced dehydration and glycerol rehydration on anaerobic power in male collegiate wrestlers. *J Strength Cond Res* 31:2965–2968
120. James LJ, Mattin L, Aldiss P et al (2014) Effect of whey protein isolate on rehydration after exercise. *Amino Acids* 46:1217–1224
121. Bouchama A, Knochel JP (2002) Heat stroke. *N Engl J Med* 346:1978–1988
122. Yaqub BA, Al-Harhi SS, Al-Orainey IO, Laajam MA, Obeid MT (1986) Heat stroke at the Mekkah pilgrimage: clinical characteristics and course of 30 patients. *Q J Med* 59:523–530
123. Sahni G (2013) The recurring epidemic of heat stroke in children in Muzaffarpur, Bihar, India. *Ann Trop Med Public Health* 6:89
124. How C-K, Chern C-H, Wang L-M, Lee C-H (2000) Heat stroke in a subtropical country. *Am J Emerg Med* 18:474–497
125. Douma MJ, Aves T, Allan KS, Bendall JC, Berry DC, Chang WT, Epstein J, Hood N, Singletary EM, Zideman D, Lin S (2020) First aid cooling techniques for heat stroke and exertional hyperthermia: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 148:173–190
126. Dylla L, Adler DH, Abar B, Benesch C, Jones CMC, O'Banion KM, Cushman JT (2019) Prehospital supplemental oxygen for acute stroke—a retrospective analysis. *Am J Emerg Med* 18:2324–2328
127. Ali K, Warusevitane A, Lally F, Sim J, Sills S, Pountain S, Nevatte T, Allen M, Roffe C (2013) The SOS pilot study: a randomized controlled trial of the effects of routine oxygen supplementation early after acute stroke—effect on key outcomes at six months. *Plos One* 8:e59274
128. Mazdeh M, Taher A, Torabian S, Seifird S (2015) Effects of normobaric hyperoxia in severe acute stroke: a randomized controlled clinical trial study. *Acta Med Iran* 53:676–680
129. Padma MV, Bhasin A, Bhatia R, Garg A, Singh MB, Tripathi M, Prasad K (2010) Normobaric oxygen therapy in acute ischemic stroke: a pilot study in Indian patients. *Ann Indian Acad Neurol* 13:284–288
130. Roffe C, Ali K, Warusevitane A, Sills S, Pountain S, Allen M, Hodsoll J, Lally F, Jones P, Crome P (2011) The SOS pilot study: a RCT on routine oxygen supplementation early after acute stroke—effect on neurological recovery at one week. *Plos One* 6:e19113
131. Roffe C, Nevatte T, Sim J, Bishop J, Ives N, Ferdinand P, Gray R, Stroke Oxygen investigators and the Stroke Oxygen Study Collaborative Group (2017) Effect of routine low-dose oxygen supplementation on death and disability in adults with acute stroke—The Stroke Oxygen Study Randomized Clinical Trial. *JAMA* 318:1125–1135
132. Rønning OM, Guldvog B (1999) Should stroke victims routinely receive supplementary oxygen? A quasi-randomized controlled trial. *Stroke* 30:2033–2037
133. Singhal A, Benner T, Roccatagliata L, Koroshetz WJ et al (2005) A pilot study of normobaric oxygen therapy in acute ischemic stroke. *Stroke* 36:797–802
134. Wu Q, Benner T, Roccatagliata L, Zhu M, Schaefer PW, Sorensen AG, Singhal AB (2012) Evaluating effects of normobaric oxygen therapy in acute stroke with MRI-based predictive models. *Med Gas Res* 2:5
135. Tomaino M, Romeo C, Vitale E, Kus T, Moya A, Van Dijk N, Giuli S, D'Ippolito G, Gentili A, Sutton R (2014) Physical counter-pressure manoeuvres in preventing syncope recurrence in patients older than 40 years with recurrent neurally mediated syncope: A controlled study from the Third International Study on Syncope of Uncertain Etiology. *Europace* 16:1397–1416
136. Serletis A, Rose S, Sheldon AG, Sheldon RS (2006) Vasovagal syncope in medical students and their first-degree relatives. *Eur Heart J* 27:1965–1970
137. Lipsitz LA, Wei JY, Rowe JW (1985) Syncope in an elderly, institutionalised population: prevalence, incidence, and associated risk. *Q J Med* 55:45–54
138. Bartoletti A, Fabiani P, Bagnoli L, Cappelletti C, Cappellini M, Nappini G, Gianni R, Lavacchi A, Santoro GM (2008) Physical injuries caused by a transient loss of consciousness: main clinical characteristics of patients and diagnostic contribution of carotid sinus massage. *Eur Heart J* 29:618–624
139. Bennett MT, Leader N, Krahn AD (2015) Recurrent syncope: differential diagnosis and management. *Heart* 101:1591–1599
140. Wieling W, Harms MP, ten Harkel AD, van Lieshout JJ, Sprangers RL (1996) Circulatory response evoked by a 3 s bout of dynamic leg exercise in humans. *J Physiol* 494:601–611
141. Ten Harkel AD, van Lieshout JJ, Wieling W (1994) Effects of leg muscle pumping and tensing on orthostatic arterial pressure: a study in normal subjects and patients with autonomic failure. *Clin Sci* 87:553–558
142. Groothuis JT, Van Dijk N, Ter Woerds W, Wieling W, Hopman MTE (2007) Leg crossing with muscle tensing, a physical counter-manoeuve to prevent syncope, enhances leg blood flow. *Clin Sci* 112:193–201

143. van Dijk N, Quartieri F, Blanc J-J, Garcia-Civera R, Brignole M, Moya A, Wieling W, PC-Trial Investigators (2006) Effectiveness of physical counterpressure maneuvers in preventing vasovagal syncope. *J Am Coll Cardiol* 48:1652–1657
144. Alizadeh A, Peighambari M, Keikhavani A, Emkanjoo Z, Rad MA, Ghadrdoost B, Khabazian M (2016) The role of acute physical maneuver in preventing Vasovagal syncope: a randomized clinical trial. *Clin Cardia Electrophysiol* 1:5348
145. Bouvette CM, McPhee BR, Opfer-Gehrking TL, Low PA (1996) Role of physical countermeasures in the management of orthostatic hypotension: efficacy and biofeedback augmentation. *Mayo Clin Proc* 71:847–853
146. Brignole M, Croci F, Menozzi C, Solano A, Donato P, Oddone D, Puggioni E, Lolli G (2002) Isometric arm counter-pressure maneuvers to abort impending vasovagal syncope. *J Am Coll Cardiol* 40:2053–2059
147. Croci F, Brignole M, Menozzi C, Solano A, Donato P, Oddone D, Puggioni E, Lolli G (2004) Efficacy and feasibility of isometric arm counter-pressure manoeuvres to abort impending vasovagal syncope during real life. *Eurpace* 6:287–291
148. Clarke DA, Medow MS, Taneja I, Ocon AJ, Stewart JM (2010) Initial orthostatic hypotension in the young is attenuated by static handgrip. *J Pediatr* 156:1019–1022
149. Kim KH, Cho JG, Lee KO et al (2005) Usefulness of physical maneuvers for prevention of vasovagal syncope. *Circ J* 69:1084–1088
150. Krediet CTP, Van Dijk N, Linzer M, Van Lieshout JJ, Wieling W (2002) Management of vasovagal syncope: Controlling or aborting faints by leg crossing and muscle tensing. *Circulation* 106:1684–1689
151. Krediet CTP, Go-Schön IK, van Lieshout JJ, Wieling W (2008) Optimizing squatting as a physical maneuver to prevent vasovagal syncope. *Clin Auton Res* 18:179–186
152. Jacobs L, Burns KJ (2014) The hartford consensus to improve survivability in mass casualty events: process to policy. *Am J Disaster Med* 9:67–71
153. Kauvar DS, Lefering R, Wade CE (2006) Impact of hemorrhage on trauma outcome: an overview of epidemiology, clinical presentations, and therapeutic considerations. *J Trauma* 60:53–11
154. Charlton NP, Swain JM, Brozek JL, Ludwikowska M, Singletary E, Zideman D, Epstein J, Darzi A, Bak A, Karam S, Les Z, Carlson JN, Lang E, Nieuwlaar R (2020) Control of severe, life-threatening external bleeding in the out-of-hospital setting: a systematic review. *Prehosp Emerg Care* 27:1–33
155. Chlan LL, Sabo J, Savik K (2005) Effects of three groin compression methods on patient discomfort, distress, and vascular complications following a percutaneous coronary intervention procedure. *Nurs Res* 54:391–398
156. Lehmann KG, Heath-Lange JF, Ferris ST (1999) Randomized comparison of hemostasis techniques after invasive cardiovascular procedures. *Am Heart J* 138:1118–1125
157. Walker SB, Cleary S, Higgins M (2001) Comparison of the FemoStop device and manual pressure in reducing groin puncture site complications following coronary angioplasty and coronary stent placement. *Int J Nurs Pract* 7:366–375
158. Boulanger H, Ahriz-Saksi S, Flamant M, Vigerol P (2014) Evaluation of post-puncture bleeding time of arteriovenous fistulas with IRIS1 bandage. *J Vasc Access* 15:102–107
159. Naimer SA, Tanami M, Malichi A, Moryosef D (2006) Control of traumatic wound bleeding by compression with a compact elastic adhesive dressing. *Mil Med* 171:644–647
160. Kotwal RS, Montgomery HR, Kotwal BM, Champion HR, Butler FK Jr, Mabry RL, Cain JS, Blackburne LH, Mechler KK, Holcomb JB (2011) Eliminating preventable death on the battlefield. *Arch Surg* 146:1350–1358
161. Hatamabadi HR, Asayesh Zarchi F, Kariman H, Arhami Dolatabadi A, Tabatabaey A, Amini A (2015) Celox-coated gauze for the treatment of civilian penetrating trauma: a randomized clinical trial. *Trauma Mon* 20:e23862
162. Arbel J, Rozenbaum E, Reges O, Neuman Y, Levi A, Erel J, Haskia AR, Caneti M, Sherf M, Mosseri M (2011) Usage of chitosan for Femoral (USF) haemostasis after percutaneous procedures: a comparative open label study. *EuroIntervention* 6:1104–1109
163. Balzer JO, Schwarz W, Thalhammer A, Eichler K, Schmitz-Rixen T, Vogl TJ (2007) Postinterventional percutaneous closure of femoral artery access sites using the Clo-Sur PAD device: initial findings. *Eur Radiol* 17:693–700
164. Behler RH, Scola MR, Nichols TC, Caughey MC, Fisher MW, Zhu H, Gallippi CM (2009) ARFI ultrasound for in vivo hemostasis assessment postcardiac catheterization, part II: pilot clinical results. *Ultrasound Imaging* 31:159–171
165. Kang SH, Han D, Kim S, Yoon CH, Park JJ, Suh JW, Cho YS, Youn TJ, Chae IH (2017) Hemostasis pad combined with compression device after transradial coronary procedures: a randomized controlled trial. *PLoS ONE* 12:e181099
166. Kordestani SS, Noohi F, Azarnik H, Basiri H, Hashemi MJ, Abdi S, Mohebi A, Madani M, Nayebhabib F (2012) A randomized controlled trial on the hemostasis of femoral artery using topical hemostatic agent. *Clin Appl Thromb Hemost* 18:501–505
167. McConnell MK, McDilda K, Bridges R, Marsh N, Jenkins G, Dowdy J, Prasnika M (2012) Comparison of different methods for achieving hemostasis after arterial sheath removal. *J Cardiovasc Nurs* 27:E1–E5
168. Mlekusch W, Dick P, Haumer M, Sabeti S, Minar E, Schillinger M (2006) Arterial puncture site management after percutaneous transluminal procedures using a hemostatic wound dressing (Clo-Sur P.A.D.) versus conventional manual compression: a randomized controlled trial. *J Endovasc Ther* 13:23–31
169. Narins CR, Zareba W, Rocco V, McNitt S (2008) A prospective, randomized trial of topical hemostasis patch use following percutaneous coronary and peripheral intervention. *J Invasive Cardiol* 20:579–584
170. Nguyen N, Hasan S, Caufield L, Ling FS, Narins CR (2007) Randomized controlled trial of topical hemostasis pad use for achieving vascular hemostasis following percutaneous coronary intervention. *Catheter Cardiovasc Interv* 69:801–807
171. Sairaku A, Nakano Y, Oda N, Makita Y, Kajihara K, Tokuyama T, Kihara Y (2011) Rapid hemostasis at the femoral venous access site using a novel hemostatic pad containing kaolin after atrial fibrillation ablation. *J Interv Card Electrophysiol* 31:157–164
172. Schwarz T, Rastan A, Pochert V, Sixt S, Schwarzwald U, Burgelin KH, Buttner HJ, Muller C, Neumann FJ, Zeller T (2009) Mechanical compression versus haemostatic wound dressing after femoral artery sheath removal: a prospective, randomized study. *Vasa* 38:53–59
173. Trabattini D, Gatto P, Bartorelli AL (2012) A new kaolin-based hemostatic bandage use after coronary diagnostic and interventional procedures. *Int J Cardiol* 156:53–54
174. Waragai T, Morgan G, Ralston T, Chaturvedi R, Lee KJ, Benson L (2011) Vascular hemostasis bandage compared to standard manual compression after cardiac catheterization in children. *Catheter Cardiovasc Interv* 78:262–266
175. Zhu Z, Chen S, Ye F, Zhou J, Tian N, Lin S, Xiao P, Qu H (2010) Clinical application of V.PAD hemostasis sticking of femoral artery. *J Chin Clin Med* 5:582–584
176. Scerbo MH, Holcomb JB, Taub E, Gates K, Love JD, Wade CE et al (2017) The trauma center is too late: major limb trauma without a prehospital tourniquet has increased death from hemorrhagic shock. *J Trauma Acute Care Surg* 83:1165–1172
177. Teixeira PGR, Brown CVR, Emigh B, Long M, Foreman M, Eastridge B et al (2018) Civilian prehospital tourniquet use is associated with improved survival in patients with peripheral vascular injury. *J Am Coll Surg* 226:769–776e1
178. Beaven A, Briard R, Ballard M, Parker P (2017) Two new effective tourniquets for potential use in the military environment: a serving soldier study. *Mil Med* 182:e1929–e1932
179. Bequette BW, Kragh JF Jr, Aden JKR, Dubick MA (2017) Belts evaluated as limb tourniquets: BELT study comparing trouser supporters used as medical devices in a manikin model of wound bleeding. *Wilderness Environ Med* 28:84–93
180. Gibson R, Aden JK 3rd, Dubick MA, Kragh JF Jr. (2016) Preliminary comparison of pneumatic models of tourniquet for prehospital control of limb bleeding in a manikin model. *J Spec Oper Med* 16:21–27
181. Gibson R, Housler GJ, Rush SC, Aden JK 3rd, Kragh JF Jr, Dubick MA (2016) Preliminary comparison of new and established tactical tourniquets in a manikin hemorrhage model. *J Spec Oper Med* 16:29–35
182. Montgomery HR, Hammesfahr R, Fisher AD, Cain JS, Greydanus DJ, Butler FK Jr, Goolsby AM, Eastman AL (2019) Recommended limb tourniquets in tactical combat casualty care. *J Spec Oper Med* 19:27–50
183. Glick CPTY, Furer MAJA, Glassberg COLE, Sharon R, Ankor MAJR (2018) Comparison of two tourniquets on a mid-thigh model: the Israeli silicone stretch and wrap tourniquet vs. the combat application tourniquet. *Mil Med* 183:157–161
184. O'Connor DK, Kragh JF Jr, Aden JK 3d, Dubick MA (2017) Cat on a hot tin roof: mechanical testing of models of tourniquets after environmental exposure. *J Spec Oper Med* 17:27–35
185. Guo JY, Liu Y, Ma YI, Pi HY, Wang JR (2001) Evaluation of emergency tourniquets for prehospital use in China. *Chin J Traumatol* 14:151–155
186. Heldenberg E, Aharony S, Wolf T, Vishne T (2015) Evaluating new types of tourniquets by the Israeli Naval special warfare unit. *Disaster Mil Med* 1:1
187. Lyles WE 3rd, Kragh JF Jr, Aden JK 3rd, Dubick MA (2015) Testing tourniquet use in a manikin model: two improvised techniques. *J Spec Oper Med* 15:21–26
188. Harcke HT, Lawrence LL, Gripp EW, Kecskemethy HH, Kruse RW, Murphy SG (2019) Adult tourniquet for use in school-age emergencies. *Pediatrics* 143:e20183447
189. Ayling J (2004) An open question. *Emerg Med Serv* 33:44

190. Kheirabadi BS, Terrazas IB, Koller A et al (2013) Vented versus unvented chest seals for treatment of pneumothorax and prevention of tension pneumothorax in aswine model. *J Trauma Acute Care Surg* 75:150–156
191. Hasler RM, Exadaktylos AK, Bouamra O et al (2012) Epidemiology and predictors of cervical spine injury in adult major trauma patients: a multicenter cohort study. *J Trauma Acute Care Surg* 72:975–981
192. Oliver M, Inaba K, Tang A et al (2012) The changing epidemiology of spinal trauma: a 13 year review from a Level II trauma centre. *Injury* 43:1296–1300
193. Sundstrom T, Asbjornsen H, Habiba S et al (2014) Prehospital use of cervical collars in trauma patients: a critical review. *J Neurotrauma* 31:531–540
194. Kwan I, Bunn F, Roberts I (2001) Spinal immobilisation for trauma patients. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD002803>
195. Hauswald M, Ong G, Tandberg D et al (1998) Out-of-hospital spinal immobilization: its effect on neurologic injury. *Acad Emerg Med* 5:214–219
196. Abram S, Bulstrode C (2010) Routine spinal immobilization in trauma patients: what are the advantages and disadvantages? *Surgeon* 8:218–222
197. Ottosen CI, Steinmetz J, Larsen MH et al (2019) Patient experience of spinal immobilisation after trauma. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 27:70
198. Kolb JC, Summers RL, Galli RL (1999) Cervical collar-induced changes in intracranial pressure. *Am J Emerg Med* 17:135–137
199. Davies G, Deakin C, Wilson A (1996) The effect of a rigid collar on intracranial pressure. *Injury* 27:647–649
200. Akkus S, Corbacioglu SK, Cevik Y et al (2016) Effects of spinal immobilization at 20 degrees on respiratory functions. *Am J Emerg Med* 34:1959–1962
201. Cowley A, Hague A, Durge N (2017) Cervical spine immobilization during extrication of the awake patient: a narrative review. *Eur J Emerg Med* 24:158–161
202. Kim JG, Bang SH, Kang GH, Jang YS, Kim W, Choi HY, Kim GM (2018) Comparison of the efficacy of three cervical collars in restricting cervical range of motion: a randomized study. *Hong Kong J Emerg Med* 27:24–29
203. Lemzye M, Palud A, Favory R, Mathieu D (2011) Unintentional strangulation by a cervical collar after attempted suicide by hanging. *Emerg Med J* 28:532
204. March JA, Ausband SC, Brown LH (2002) Changes in physical examination caused by use of spinal immobilization. *Prehosp Emerg Care* 6:421–424
205. McGrath T, Murphy C (2009) Comparison of a SAM splint-molded cervical collar with a philadelphia cervical collar. *Wilderness Environ Med* 20:166–168
206. Schneider AM, Hipp JA, Nguyen L, Reitman CA (2007) Reduction in head and intervertebral motion provided by 7 contemporary cervical orthoses in 45 individuals. *Spine* 32(1976):E1–E6
207. Centers for Disease Control and Prevention Symptoms of traumatic brain injury (TBI). <https://www.cdc.gov/traumaticbraininjury/symptoms.html>. Zugriffen: 17. Nov. 2019
208. Singletary EM, Charlton NP, Epstein JL, Ferguson JD, Jensen JL, MacPherson AI, Pellegrino JL, Smith WR, Swain JM, Lojero-Wheatley LF, Zideman DA (2015) Part 15: first aid: 2015 American Heart Association and American red cross guidelines update for first aid. *Circulation* 132:S574–S589
209. Kulnick ST, Halter M, Hilton A, Baron A, Garner S, Jarman H, Klaassen B, Oliver E (2019) Confidence and willingness among laypersons in the UK to act in a head injury situation: a qualitative focus group study. *BMJ Open* 9:e33531
210. Echemendia RJ, Meeuwisse W, McCrory P, Davis GA, Putukian M, Leddy J, Makdissi M, Sullivan SJ, Broglio SP, Raftery M, Schneider K, Kissick J, McCrea M, Dvořák J, Sills AK, Aubry M, Engebretsen L, Loosemore M, Fuller G, Kutcher J, Ellenbogen R, Guskiewicz K, Patricios J, Herring S (2017) The sport concussion assessment tool 5th edition (SCAT5): background and rationale. *Br J Sports Med* 51:848–850
211. Echemendia RJ, Meeuwisse W, McCrory P, Davis GA, Putukian M, Leddy J, Makdissi M, Sullivan SJ, Broglio SP, Raftery M, Schneider K, Kissick J, McCrea M, Dvořák J, Sills AK, Aubry M, Engebretsen L, Loosemore M, Fuller G, Kutcher J, Ellenbogen R, Guskiewicz K, Patricios J, Herring S (2017) Sport concussion assessment tool—5th edition. *Br J Sports Med* 51:851–858
212. Echemendia RJ, Meeuwisse W, McCrory P, Davis GA, Putukian M, Leddy J, Makdissi M, Sullivan SJ, Broglio SP, Raftery M, Schneider K, Kissick J, McCrea M, Dvořák J, Sills AK, Aubry M, Engebretsen L, Loosemore M, Fuller G, Kutcher J, Ellenbogen R, Guskiewicz K, Patricios J, Herring S (2017) The Concussion Recognition Tool 5th Edition (CRT5): Background and rationale. *Br J Sports Med* 51:870–871
213. Echemendia RJ, Meeuwisse W, McCrory P, Davis G A, Putukian M, Leddy J, Makdissi M, Sullivan SJ, Broglio SP, Raftery M, Schneider K, Kissick J, McCrea M, Dvořák J, Sills AK, Aubry M, Engebretsen L, Loosemore M, Fuller G, Kutcher J, Ellenbogen R, Guskiewicz K, Patricios J, Herring S (2017) Concussion recognition tool 5. *Br J Sports Med* 51:872
214. Teasdale G, Jennett B (1974) Assessment of coma and impaired consciousness: a practical scale. *Lancet* 304:81–84
215. Teasdale G, Murray G, Parker L, Jennett B (1979) Adding up the Glasgow coma score. *Acta Neurochir Suppl* 28:13–19
216. Pabian PS, Oliveira L, Tucker J, Beato M, Gual C (2016) Interprofessional management of concussion in sport. *Phys Ther Sport* 23:123–132
217. Nguyen NL, Gun RT, Sparnon AL, Ryan P (2002) The importance of immediate cooling—a case series of childhood burns in Vietnam. *Burns* 28:173–176
218. Yava A, Koyuncu A, Tosun N, Kilic S (2012) Effectiveness of local cold application on skin burns and pain after transthoracic cardioversion. *Emerg Med J* 29:544–549
219. Skinner AM, Brown TLH, Peat BG, Muller MJ (2004) Reduced hospitalisation of burns patients following a multi-media campaign that increased adequacy of first aid treatment. *Burns* 30:82–85
220. Jandera V, Hudson DA, deWet PM, Innes PM, Rode H (2000) Cooling the burn wound: evaluation of different modalities. *Burns* 26:265–270
221. Cuttle L, Kempf M, Kravchuk O, Phillips GE, Mill J, Wang XQ et al (2008) The optimal temperature of first aid treatment for partial thickness burn injuries. *Wound Repair Regen* 16:626–634
222. Rajan V, Bartlett N, Harvey JG, Martin HC, La Hei ER, Arbuckle S et al (2009) Delayed cooling of an acute scald contact burn injury in a porcine model: is it worthwhile? *J Burn Care Res* 30:729–734
223. Bartlett N, Yuan J, Holland AJ, Harvey JG, Martin HC, La Hei ER et al (2008) Optimal duration of cooling for an acute scald contact burn injury in a porcine model. *J Burn Care Res* 29:828–834
224. Domergue S, Jorgensen C, Noël D (2015) Advances in research in animal models of burn-related hypertrophic scarring. *J Burn Care Res* 36:e259–e266
225. Wright EH, Tyler M, Vojnovic B, Pleat J, Harris A, Furniss D (2019) Human model of burn injury that quantifies the benefit of cooling as a first aid measure. *Br J Surg* 106:1472–1479
226. Hettiaratchy S, Papini R (2004) Initial management of a major burn: I—overview. *BMJ* 328:1555–1557
227. Liao AY, Andresen D, Martin HCO, Harvey JG, Holland AJA (2014) The infection risk of plastic wrap as an acute burns dressing. *Burns* 40:443–445
228. Ritwik P, Massey C, Hagan J (2015) Epidemiology and outcomes of dental trauma cases from an urban pediatric emergency department. *Dent Traumatol* 31:97–102
229. Lam R (2016) Epidemiology and outcomes of traumatic dental injuries: a review of the literature. *Aust Dent J* 61:4–20
230. Ozer S, Yilmaz El, Bayrak S, Tunc ES (2012) Parental knowledge and attitudes regarding the emergency treatment of avulsed permanent teeth. *Eur J Dent* 6:370–375
231. Marciano-Caldera M, Mejia-Cardona JL, Parra Sanchez JH, Mendez de la Espriella C, Covo Morales E, Varon SG et al (2018) Knowledge about emergency dental trauma management among school teachers in Colombia: a baseline study to develop an education strategy. *Dent Traumatol* 34:164–174
232. Andreasen J, Borum M, Jacobsen H, Andreasen F (1995) Replantation of 400 avulsed permanent incisors. 2. Factors related to pulpal healing. *Endod Dent Traumatol* 11:59–68
233. Andersson L, Andreasen JO, Day P, Heithersay G, Trope M, Diangelis AJ, Kenny DJ, Sigurdsson A, Bourguignon C, Flores MT, Hicks ML, Lenzi AR, Malmgren B, Moule AJ, Tsukiboshi M (2012) International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries: 2. Avulsion of permanent teeth. *Dent Traumatol* 28:88–96
234. Fong DT, Hong Y, Chan LK, Yung PS, Chan KM (2007) A systematic review on ankle injury and ankle sprain in sports. *Sports Med* 37:73–94
235. Hertel J (2002) Functional anatomy, pathomechanics, and pathophysiology of lateral ankle instability. *J Athl Train* 37:364–375
236. Kannus P, Renstrom P (1991) Treatment for acute tears of the lateral ligaments of the ankle. Operation, cast, or early controlled mobilization. *J Bone Joint Surg Am* 73:305–312
237. Katcherian DA (1994) Treatment of Freiberg's disease. *Orthop Clin North Am* 25:69–81
238. Bridgman SA, Clement D, Downing A, Walley G, Phair I, Maffulli N (2003) Population based epidemiology of ankle sprains attending accident and emergency units in the West Midlands of England, and a survey of UK practice for severe ankle sprains. *Emerg Med J* 20:508–510
239. O'Connor G, Martin AJ (2011) Acute ankle sprain: is there a best support? *Eur J Emerg Med* 18:225–230
240. Bleakley CM, Glasgow P, MacAuley DC (2012) PRICE needs updating, should we call the POLICE? *Br J Sports Med* 46:220–221
241. Dubois B, Esculier JF (2020) Soft-tissue injuries simply need PEACE and LOVE. *Br J Sports Med* 54:72–73
242. Bendahou M, Khiami F, Saidi K et al (2014) Compression stockings in ankle sprain: a multicenter randomized study. *Am J Emerg Med* 32:1005–1010

243. Beynnon BD, Renstrom PA, Haugh L, Uh BS, Barker H (2006) A prospective, randomized clinical investigation of the treatment of first-time ankle sprains. *Am J Sports Med* 34:1401–1412
244. Boyce SH, Quigley MA, Campbell S (2005) Management of ankle sprains: a randomised controlled trial of the treatment of inversion injuries using an elastic support bandage or an Aircast ankle brace. *Br J Sports Med* 39:91–96
245. Leanderson J, Wredmark T (1995) Treatment of acute ankle sprain. Comparison of a semi-rigid ankle brace and compression bandage in 73 patients. *Acta Orthop Scand* 66:529–531
246. Rucinkski TJ, Hooker DN, Prentice WE, Shields EW, Cote-Murray DJ (1991) The effects of intermittent compression on edema in postacute ankle sprains. *J Orthop Sports Phys Ther* 14:65–69
247. Bilgic S, Durusu M, Aliyev B et al (2015) Comparison of two main treatment modalities for acute ankle sprain. *Pak J Med Sci* 31:1496–1499
248. Linde F, Hvass I, Jurgensen U, Madsen F (1984) Compression bandage in the treatment of ankle sprains. A comparative prospective study. *Scand J Rehabil Med* 16:177–179
249. Baradaran-Rafii A, Eslani M, Haq Z, Shirzadeh E, Huvard MJ, Djallilian AR (2017) Current and upcoming therapies for ocular surface chemical injuries. *Ocul Surf* 15:48–64
250. Pargament JM, Armenia J, Nerad JA (2015) Physical and chemical injuries to eyes and eyelids. *Clin Dermatol* 33:234–237
251. Lewis CJ, Al-Mousawi A, Jha A, Allison KP (2017) Is it time for a change in the approach to chemical burns? The role of Diphoterine® in the management of cutaneous and ocular chemical injuries. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 70:563–567

Glukagon bei schweren Hypoglykämien

In mehreren Kapiteln der Leitlinien wird auf die Möglichkeit der Therapie der Hypoglykämie mit Glukagon hingewiesen. Bisher war die Gabe nur als intramuskuläre Injektion möglich. Inzwischen steht Glukagon auch als intranasaler Pulverspray (Baqsimi®) zur Verfügung.

Da Diabetiker dies mit sich führen können, steht Laien für die Erste Hilfe bei bewußtlosen Diabetikern die Applikation des Patienten eigenen Medikamentes zur Verfügung, für professionelle Helfer kann die intranasale Applikation des Pulverspray's bei Bewusstlosigkeit aufgrund von Hypoglykämie und unmöglichem i.v. Zugang als Alternative zur klassischen i.m. Applikation dienen.

Die Anwendung ist einfach: Man hält das Einzeldosisbehältnis zwischen Daumen und Fingern und führt die Spitze in ein Nasenloch ein, bis die Finger den Nasenrand berühren. Erst jetzt wird der Kolben ganz durchgedrückt, bis der grüne Streifen darauf im Behältnis verschwindet.

Die intranasale Applikation (3 mg) ist auch für Kinder ab 4 Jahren geeignet.

Hinweis des GRC zu den ERC-Reanimationsleitlinien 2021

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:603–649
<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00894-w>
 Angenommen: 20. April 2021
 Online publiziert: 2. Juni 2021
 © European Resuscitation Council (ERC),
 German Resuscitation Council (GRC), Austrian
 Resuscitation Council (ARC) 2021



John Madar¹ · Charles C. Roehr^{2,3,4} · Sean Ainsworth⁵ · Hege Ersda^{6,7} ·
 Colin Morley^{8,9} · Mario Rüdiger^{10,11} · Christiane Skåre¹² · Tomasz Szczapa¹³ ·
 Arjan te Pas¹⁴ · Daniele Trevisanuto¹⁵ · Berndt Urlesberger¹⁶ ·
 Dominic Wilkinson^{17,18,19} · Jonathan P. Wyllie^{20,21}

¹ Department of Neonatology, University Hospitals Plymouth, Plymouth, Großbritannien; ² Newborn Services, John Radcliffe Hospital, Oxford University Hospitals, Oxford, Großbritannien; ³ Department of Paediatrics, Medical Sciences Division, University of Oxford, Oxford, Großbritannien; ⁴ Nuffield Department of Population Health, National Perinatal Epidemiology Unit, Medical Sciences Division, University of Oxford, Oxford, Großbritannien; ⁵ Directorate of Women's & Children's Services, Victoria Hospital, Kirkcaldy, Großbritannien; ⁶ Department of Anaesthesiology & Intensive Care, Stavanger University Hospital, Stavanger, Norwegen; ⁷ Faculty of Health Sciences, University of Stavanger, Stavanger, Norwegen; ⁸ University of Melbourne, Melbourne, Australien; ⁹ Honorary Lecturer Department of Obstetrics, University of Cambridge, Cambridge, Großbritannien; ¹⁰ Abteilung für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin, Klinik und Poliklinik für Kinder- und Jugendmedizin, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden, Dresden, Deutschland; ¹¹ Center for Feto-Neonatal Health, Technische Universität Dresden, Dresden, Deutschland; ¹² Department of Anesthesiology, Oslo University Hospital, Oslo, Norwegen; ¹³ Department of Neonatology, Neonatal Biophysical Monitoring and Cardiopulmonary Therapies Research Unit, Poznan University of Medical Sciences, Poznan, Polen; ¹⁴ Department of Paediatrics, Division of Neonatology, Leiden University Medical Center, Leiden, Niederlande; ¹⁵ Department of Woman's and Child's Health, University Hospital of Padova, Padova, Italien; ¹⁶ Abteilung für Neonatologie, Medizinische Universität Graz, Graz, Österreich; ¹⁷ Oxford Uehiro Centre for Practical Ethics, Faculty of Philosophy, University of Oxford, Oxford, Großbritannien; ¹⁸ John Radcliffe Hospital, Oxford, Großbritannien; ¹⁹ Murdoch Children's Research Institute, Melbourne, Australien; ²⁰ James Cook University Hospital, Middlesbrough, Großbritannien; ²¹ Resuscitation Council UK, London, Großbritannien

Versorgung und Reanimation des Neugeborenen nach der Geburt

Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Zusatzmaterial online

Zusätzliche Informationen sind in der Online-Version dieses Artikels (<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00894-w>) enthalten.

John Madar: *ERC NLS Science & Education Committee*

Charles C. Roehr: *ERC NLS Science & Education Committee*

Jonathan P. Wyllie: *ILCOR Neonatal Task Force*
 Die Leitlinien wurden mit dem generischen Maskulin übersetzt. Bitte beachten Sie, dass alle Personenbezeichnungen gleichermaßen für beide Geschlechter gelten.

Die Übersetzung beruht auf der Version vom 29.01.2021. Bis zur Publikation des englischen Originals in *Resuscitation* wurden in manchen Kapiteln Literaturstellen korrigiert oder andere Änderungen vorgenommen, die den Sinn nicht wesentlich ändern.

Einführung und Geltungsbereich

Die vorliegenden Leitlinien basieren auf dem „International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) 2020 Consensus on Science and Treatment Recommendations (CoSTR) for Neonatal Life Support (NLS)“ [1]. Zur Erstellung dieser ERC-Leitlinien wurden die ILCOR-Empfehlungen von den ERC-NLS-Leitlinien-Verfassern für Themen, die vom ILCOR 2020 CoSTR nicht berücksichtigt wurden, zusätzlich durch weitere Literaturrecherchen ergänzt. Teilweise basieren Empfehlungen in diesen Leitlinien auf dem Expertenkonsens der ERC-Leitlinien-Verfasser.

Diese Leitlinien zur Versorgung und Reanimation des Neugeborenen nach der Geburt wurden von den Verfassern der NLS-Leitlinien im Konsens erstellt. Die

für die Leitlinienentwicklung verwendete Methodik findet sich in der Zusammenfassung [2]. Die Leitlinien wurden im Oktober 2020 zunächst zur öffentlichen Kommentierung veröffentlicht. Die eingegangenen Kommentare wurden von den NLS-Leitlinien-Verfassern gesichtet und bewertet und das Dokument wurde entsprechend aktualisiert. Die vorliegende Fassung der Leitlinien wurde der ERC-Generalversammlung am 10. Dezember 2020 vorgelegt und von dieser zur Publikation freigegeben.

Die Kernaussagen des Kapitels sind in **Abb. 1** zusammengefasst.

Neugeborene und COVID-19

Der ERC hat Leitlinien zur Versorgung und Reanimation des Neugeborenen im Zusammenhang mit COVID-19 (SARS-CoV-2) erstellt [3]. Diese basieren auf

NLS 2021
5 KERNAUSSAGEN



- 1.** Ein verzögertes Abnabeln kann den klinischen Zustand – besonders bei Frühgeborenen – verbessern.
- 2.** Wärmen, Trocknen und Stimulieren
Einem effektiven Wärmemanagement kommt eine entscheidende Bedeutung zu.
- 3.** Beurteilung der Atmung und Herzfrequenz
Eine schnelle Herzfrequenz zeigt eine gute Oxygenierung an.
- 4.** Die meisten Neugeborenen benötigen nur einfache Maßnahmen zum Öffnen der Atemwege und zum Unterstützen der Atmung.
- 5.** Thoraxkompressionen können erst effektiv sein, wenn die Lunge geöffnet und suffizient beatmet wurde.

Abb. 1 ▲ Die Kernaussagen des Kapitels

einem ILCOR CoSTR und einem systematischen Review [4, 5]. Die Erkenntnisse, welche Risiken für mit SARS-CoV-2 infizierte Neugeborene bestehen, und insbesondere auch die Risiken für Personen, die eventuell infizierte Neugeborene versorgen, sich selbst zu infizieren oder das Virus zu übertragen, entwickeln sich stetig weiter. Empfehlungen für Präventionsmaßnahmen zur Verhinderung einer Infektionsübertragung und -ausbreitung, insbesondere für medizinisches Personal während der Versorgung von COVID-19-Patienten, finden sich in den o. g. Publikationen des ERC. Darüber hi-

naus müssen selbstverständlich aktuelle nationale Leitlinien und Empfehlungen für die Prävention der Infektionsübertragung und Behandlung von Patienten mit COVID-19 berücksichtigt werden.

Zusammenfassung der Änderungen seit den Leitlinien 2015

Abnabeln

Es wird empfohlen, frühestens eine Minute nach der Geburt, idealerweise nach der Belüftung der Lunge, abzunabeln. Wenn ein verzögertes Abnabeln nicht

möglich ist, soll bei Frühgeborenen ab 28 + 0 Schwangerschaftswochen ein Ausstreifen der Nabelschnur in Erwägung gezogen werden.

Spitzendruck für die Beatmung von Frühgeborenen

Für Frühgeborene vor 32 + 0 Schwangerschaftswochen wird ein initialer Spitzendruck von 25 cm H₂O empfohlen.

Mekonium

Bei nichtvitalen Neugeborenen mit mekoniumhaltigem Fruchtwasser wird weder ein sofortiges tracheales Absaugen unter Sicht noch eine Laryngoskopie empfohlen, da dies das Öffnen der Lunge und eventuell notwendige Beatmungen verzögern kann.

Raumluft/Sauerstoff bei der Versorgung von Frühgeborenen

Während der Versorgung und Atemunterstützung von Frühgeborenen ab 32 + 0 Schwangerschaftswochen und reifen Neugeborenen soll mit 21 % Sauerstoff (Raumluft) begonnen werden. Von der Schwangerschaftswoche 28 + 0 bis 31 + 6 sollen 21 bis 30 % Sauerstoff als Startkonzentration verwendet werden und für Frühgeborene unter 28 + 0 Schwangerschaftswochen wird eine Startkonzentration von 30 % empfohlen. Bei Frühgeborenen unter 32 + 0 Schwangerschaftswochen soll die Sauerstoffkonzentration im Verlauf so titriert werden, dass ab 5 Lebensminuten eine Sauerstoffsättigung > 80 % erreicht wird. Niedrigere Sättigungswerte zu diesem Zeitpunkt führen möglicherweise zu einem schlechteren Outcome.

Initiale Beatmungshübe und assistierte Beatmung

Zeigt ein Neugeborenes unter Beatmung keine klinische Verbesserung, werden u. a. eine Erhöhung des Spitzendrucks und weitere Manöver zur Optimierung der Beatmung empfohlen (z. B. Zwei-Hände-Esmarch oder Guedel-Tubus). Auch eine Larynxmaske kann erwogen werden. *Werden alle diese Manöver konsequent durchgeführt, ist eine Intubation zunächst selten erforderlich (Anmerkung der AutorInnen der deutschen Fassung).*

Larynxmaske

Eine Larynxmaske kann als alternativer Atemweg bei Neugeborenen ab 34 + 0 Schwangerschaftswochen (ca. 2000 g, wobei eine erfolgreiche Verwendung bei Neugeborenen ab 1500 g beschrieben wurde) in Erwägung gezogen werden, wenn eine effektive Maskenbeatmung nicht gelingt oder eine tracheale Intubation nicht erfolgreich oder nicht durchführbar ist.

Thoraxkompressionen

Wenn Thoraxkompressionen erforderlich sind, soll die verabreichte Sauerstoffkonzentration auf 100 % erhöht werden. Hebt sich der Thorax unter den Beatmungen während der Thoraxkompressionen nicht effektiv, soll überprüft werden, ob eine Intubation sinnvoll und möglich erscheint.

Gefäßzugang

Die Nabelvene wird weiterhin als Zugangsweg der 1. Wahl bevorzugt. Der intraossäre Zugang ist eine alternative Methode für den Notfallzugang und die Gabe von Medikamenten und Flüssigkeit.

Adrenalin

Wenn die Herzfrequenz unter effektiven Beatmungen und Thoraxkompressionen nicht steigt, ist eine intravenöse Gabe von 10 bis 30 µg/kg Körpergewicht (KG) Adrenalin empfohlen. Diese kann bei ausbleibendem Erfolg alle 3–5 min wiederholt werden.

Glukose

Bei länger dauernden Reanimationsmaßnahmen kann eine intravenöse Gabe von 250 mg/kgKG Glukose verabreicht werden (z. B. 2,5 ml/kgKG 10 %ige Glukoselösung), um die Wahrscheinlichkeit einer Hypoglykämie zu verringern.

Prognose

Zeigt ein reanimationspflichtiges Neugeborenes nach 10 bis 20 min technisch korrekt durchgeführter Reanimationsmaßnahmen keinen Spontankreislauf, ist dies mit einem hohen Risiko für ein schlechtes neurologisches Outcome verbunden. In diesen Situationen sollen Eltern in die weiteren Therapieentscheidungen mit einbezogen werden. Wenn es unter Ausschöpfung maximaler Reanimationsmaßnahmen und nach Ausschluss reversibler Ursachen zu keiner klinischen Verbesserung kommt, kann es sinnvoll sein, im Team und mit den Eltern einen möglichen Therapieabbruch zu besprechen.

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:603–649 <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00894-w>
© European Resuscitation Council (ERC), German Resuscitation Council (GRC), Austrian Resuscitation Council (ARC) 2021

J. Madar · C. C. Roehr · S. Ainsworth · H. Ersda · C. Morley · M. Rüdiger · C. Skåre · T. Szczapa · A. te Pas · D. Trevisanuto · B. Urlesberger · D. Wilkinson · J. P. Wyllie

Versorgung und Reanimation des Neugeborenen nach der Geburt. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Zusammenfassung

Die vorliegenden Leitlinien des European Resuscitation Council zur Versorgung und Reanimation des Neugeborenen nach der Geburt beruhen auf dem International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) 2020 Consensus on Science and Treatment Recommendations (CoSTR) for Neonatal Life Support (NLS). Sie beinhalten Empfehlungen zur Versorgung und Reanimation des reifen Neugeborenen und zur Stabilisierung des Frühgeborenen. Sie umfassen den aktualisierten Algorithmus zur Reanimation des Neugeborenen, die Vorbereitungen vor der Versorgung eines Neugeborenen, die Themen Training und Ausbildung, Wärme-management, Empfehlungen zum Abnabeln,

die initiale Beurteilung und Einschätzung des Neugeborenen, das Atemwegsmanagement, inklusive einer Notfallbeatmung, und die Kreislaufunterstützung im Falle einer vollen Reanimation. Darüber hinaus finden sich Empfehlungen zur Kommunikation mit den Eltern und ethische Überlegungen, in welchen Situationen erwogen werden soll, auf Reanimationsmaßnahmen zu verzichten bzw. Reanimationsmaßnahmen nicht fortzuführen.

Schlüsselwörter

Neugeborenenreanimation · Stabilisierung · Notfallbeatmung · Thoraxkompressionen · Notfallzugänge

Newborn resuscitation and support of transition of infants at birth. European Resuscitation Council Guidelines 2021

Abstract

The European Resuscitation Council has produced these newborn life support guidelines, which are based on the International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) 2020 Consensus on Science and Treatment Recommendations (CoSTR) for Neonatal Life Support. The guidelines cover the management of the term and preterm infant. The topics covered include an algorithm to aid a logical approach to resuscitation of the newborn, factors before delivery, training and education, thermal control,

management of the umbilical cord after birth, initial assessment and categorisation of the newborn infant, airway and breathing and circulation support, communication with parents, considerations when withholding and discontinuing support.

Keywords

Newborn Resuscitation · Stabilisation · Ventilation · Chest Compressions · Vascular Access

Empfehlungen für die klinische Praxis

Pränatale Faktoren

Anpassung an das Leben nach der Geburt

Der Übergang vom intra- zum extrauterinen Leben erfolgt für die meisten Neugeborenen problemlos. Einige Neugeborene benötigen allerdings unterstützende, stabilisierende Maßnahmen während oder nach der Geburt, bei nur sehr wenigen müssen tatsächlich Reanimationsmaßnahmen durchgeführt



Abb. 2 ▲ Faktoren für ein erhöhtes Risiko von Reanimationsmaßnahmen oder stabilisierenden Maßnahmen nach der Geburt

werden. Bis zu 85 % aller Neugeborenen atmen nach der Geburt spontan, ohne dabei unterstützt werden zu müssen, bei weiteren 10 % setzt eine Spontanatmung unter Trocknen und taktiler Stimulation ein. Etwa 5 % aller Neugeborenen müssen initial beatmet werden. Die Intubationsraten nach der Geburt variieren zwischen 0,4 und 2 %. Weniger als 0,3 % der Neugeborenen benötigen Thoraxkompressionen und nur 0,05 % eine Adrenalingabe.

Risikofaktoren

Zahlreiche Risikofaktoren können die Wahrscheinlichkeit der Notwendigkeit von stabilisierenden Maßnahmen nach der Geburt erhöhen (■ **Abb. 2**).

Bei einer Geburt anwesendes Personal

Jedes Neugeborene kann, auch überraschend, nach der Geburt unterstützende Maßnahmen benötigen. Daher sind lokale Leitlinien erforderlich, die, basierend auf aktueller Praxis und klinischer Qualitätsprüfung, unter Berücksichtigung von Risikofaktoren für jede Geburt festlegen, welches Personal grundsätzlich anwesend sein soll. Als Leitfaden kann gelten:

- Für jede Entbindung soll in der Reanimation von Neugeborenen trainiertes Personal anwesend sein.
- Sind unterstützende Maßnahmen für das Neugeborene notwendig, soll Personal zur Verfügung stehen, das

ausschließlich für die Versorgung des Neugeborenen zuständig ist.

- Jede geburtshilfliche Abteilung soll über ein Notfallprotokoll verfügen, das Alarmierungsstrukturen klar regelt und eine schnelle Verfügbarkeit von in Neugeborenenreanimation ausgebildetem und trainiertem Personal zu jeder Zeit gewährleistet.

Material und Umgebung

- Notwendiges Material und alle Geräte müssen regelmäßig überprüft und einsatzbereit sein.
- Wann immer möglich, sollen die Umgebung und das notwendige Material noch vor der Entbindung des Kindes vorbereitet werden. Checklisten können eine effektive Vorbereitung erleichtern.
- Die Versorgung eines Neugeborenen soll in einer warmen, gut beleuchteten, zugluftfreien Umgebung stattfinden. Das Neugeborene soll (wenn verfügbar) unter einem Heizstrahler auf eine gerade und glatte Fläche gelegt werden.
- Sämtliches zur Reanimation notwendige Material (insbesondere Equipment zur Beatmung und Monitoring) muss leicht verfügbar sein.
- Zusätzliches Material und Geräte, die bei längeren Reanimationsmaßnahmen erforderlich sein könnten, sollen leicht zugänglich sein.

Geplante Hausgeburten

- Hausgeburten sollen idealerweise immer von zwei in Geburtshilfe erfahrenen und ausgebildeten Personen durchgeführt werden.
- Mindestens eine der beiden Personen muss in der Durchführung von Maskenbeatmung und Thoraxkompressionen bei Neugeborenen trainiert und erfahren sein.
- Von Land zu Land finden sich unterschiedliche Empfehlungen, wer bei einer geplanten Hausgeburt anwesend sein soll. Ist die Entscheidung für eine geplante Hausgeburt in Abstimmung mit dem ärztlichen Team und der Hebamme gefallen, gelten jedoch grundsätzlich auch im häuslichen Umfeld die Standards der Neugeborenenversorgung bezüglich initialer Beurteilung des Neugeborenen, stabilisierender Maßnahmen und einer mitunter notwendigen Reanimation.
- Bereits bei der Planung einer Hausgeburt müssen die werdenden Eltern darüber aufgeklärt werden, dass aufgrund der schwierigen Verfügbarkeit weiterer Hilfe und erweiterten Notfall equipments eine Reanimation in häuslicher Umgebung zwangsläufig nicht im gleichen Umfang wie im klinischen Setting durchgeführt werden kann.
- Findet eine Geburt außerhalb der üblichen klinischen Entbindungsbereiche statt, soll als Mindestausstattung für die Versorgung des Neugeborenen folgendes Equipment zur Verfügung stehen:
 - saubere Handschuhe für das versorgende Team,
 - gewärmte, trockene Tücher und Laken, um das Neugeborene warm zu halten,
 - ein Stethoskop zur Überprüfung der Herzfrequenz,
 - ein Hilfsmittel zur sicheren, assistierten Beatmung (z. B. ein Beatmungsbeutel), mit einer Beatmungsmaske in der passenden Größe,
 - sterile Instrumente zum Klemmen und später sicheren Durchtrennen der Nabelschnur.

- Da unerwartete Geburten außerhalb des klinischen Umfelds vor allem das Personal des Rettungsdiensts betreffen, soll dieses grundsätzlich auf die Versorgung von Neugeborenen vorbereitet und trainiert sein.
- Personen, die geplante Hausgeburten durchführen, sollen vorbereitete Notfallpläne für schwierige Situationen haben.

Briefing

- Wann immer möglich, soll vor jeder Geburt ein Teambriefing durchgeführt werden. Dies dient dazu, Zuständigkeiten zu klären, das notwendige Material zu überprüfen und möglicherweise vorhersehbare Maßnahmen zur Versorgung des Neugeborenen bereits im Vorfeld zu planen.
- Die Rollen und Zuständigkeiten im Team sollen eindeutig verteilt werden. Checklisten sind hier hilfreich.
- Sind Reanimationsmaßnahmen vorauszusehen, sollen auch die Eltern auf eine möglicherweise notwendige Reanimation vorbereitet werden.

Ausbildung und Training

- Alle mit der Versorgung und Reanimation von Neugeborenen betrauten Personen müssen die aktuellen Versorgungsstrategien zur Stabilisierung und Reanimation von Neu- und Frühgeborenen kennen und über die notwendigen technischen Fertigkeiten und nichttechnischen Fähigkeiten für die Versorgung von kritisch kranken Neugeborenen verfügen.
- Krankenhäuser und geburtshilfliche Abteilungen, die Geburten durchführen, müssen über strukturierte Ausbildungs- und Trainingsprogramme verfügen, die es Mitarbeitern ermöglichen, die für die Versorgung und Reanimation von Neugeborenen erforderlichen Kenntnisse zu erlangen und die notwendigen Fertigkeiten regelmäßig zu trainieren.
- Der Inhalt und die Organisation solcher Ausbildungs- und Trainingsprogramme können je nach den Bedürfnissen der Mitarbeiterinnen

und Mitarbeiter und der Klinik variieren.

- Zu den empfohlenen Inhalten solcher Ausbildungs- und Trainingsprogramme gehören:
 - Regelmäßige Praxis und Training.
 - Team- und Leadership-Training.
 - Multimodale Ansätze.
 - Simulationsbasiertes Teamtraining.
 - Direktes und unmittelbares Feedback bezüglich der technischen Fertigkeiten (z. B. durch Trainer oder Reanimationsgeräte mit Feedbackfunktion).
 - Zielgerichtete, konstruktive Nachbesprechungen (Debriefings) zur generellen Verbesserung der Teamperformance.
- Idealerweise soll das Training häufiger als einmal pro Jahr wiederholt werden.
 - Auffrischungsveranstaltungen können bestimmte technische Fertigkeiten, nichttechnische Fähigkeiten und Feedback umfassen.

Wärmemanagement

Standards

- Die Körpertemperatur des Neugeborenen soll nach der Geburt regelmäßig beurteilt werden. Die Temperatur bei Aufnahme ist sowohl ein Prädiktor für das Outcome als auch ein Qualitätsindikator der Versorgung und soll immer dokumentiert werden.
- Die Temperatur von Neugeborenen soll zwischen 36,5 und 37,5°C gehalten werden.
- Sowohl Hypothermie ($\leq 36,0^\circ\text{C}$) als auch Hyperthermie ($> 38,0^\circ\text{C}$) sollen während der Versorgung von Neugeborenen vermieden werden. Eine therapeutische Hypothermie kann nach einer erfolgreichen Reanimation in Betracht gezogen werden (siehe „Weitere Versorgung nach erfolgreicher Reanimation“ [6]).

Umgebung

- Schützen Sie das Kind vor Zugluft. Stellen Sie sicher, dass die Fenster geschlossen sind und die Klimaanlage adäquat eingestellt wurde.

- Der Raum, in dem das Neugeborene versorgt wird (Kreißsaal oder OP), soll eine Temperatur zwischen 23 und 25°C haben.
- Für die Versorgung von Frühgeborenen $\leq 28 + 0$ Schwangerschaftswochen soll die entsprechende Raumtemperatur bei $> 25^\circ\text{C}$ liegen.

Reifgeborene und Frühgeborene > 32 Schwangerschaftswochen

- Trocknen Sie das Kind sofort nach der Geburt sorgfältig ab. Um weiteren Wärmeverlust zu vermeiden, werden Kopf und Körper des Neugeborenen, unter Aussparung des Gesichts, mit einem warmen, trockenen Tuch bedeckt.
- Wenn keine Wiederbelebungsmaßnahmen erforderlich sind, kann das nackte Neugeborene der Mutter auf die Brust gelegt werden, und beide werden mit einem Tuch oder einer Decke zugedeckt. Eine kontinuierliche sorgfältige Beobachtung von Kind und Mutter ist insbesondere bei Frühgeborenen und wachstumsretardierten Neugeborenen erforderlich, um sicherzustellen, dass beide nicht auskühlen und eine normale Körpertemperatur halten.
- Benötigt das Neugeborene unterstützende Maßnahmen oder ist eine Reanimation notwendig, wird das Neugeborene zur weiteren Versorgung unter einem vorgewärmten Heizstrahler auf einer warmen, ebenen Fläche platziert.

Frühgeborene ≤ 32 Schwangerschaftswochen

- Frühgeborene vor $32 + 0$ Schwangerschaftswochen sollen unter Aussparung des Gesichts komplett in eine durchsichtige Plastikfolie gehüllt werden. Dabei wird das Kind vorher nicht abgetrocknet und so eingehüllt unter einem Wärmestrahler platziert.
- Soll das Neugeborene verzögert abgenabelt werden und es ist zu diesem Zeitpunkt kein Heizstrahler verfügbar, sind andere wärmende Maßnahmen (wie unten aufgeführt) erforderlich, um das Neugeborene, während es noch mit der Plazenta

verbunden ist, vor Auskühlung zu schützen.

- Bei Frühgeborenen vor 32 + 0 Schwangerschaftswochen kann eine Kombination aus mehreren Maßnahmen für ein effektives Wärmemanagement, wie z. B. eine generelle Erhöhung der Raumtemperatur, zusätzliche warme Tücher und eine vorgewärmte Mütze sowie eine Wärmematte, notwendig sein.
- Ein direkter Hautkontakt mit der Mutter nach der Geburt ist auch bei weniger reifen Neugeborenen möglich, allerdings ist bei Frühgeborenen oder wachstumsretardierten Neugeborenen besondere Sorgfalt geboten, um eine Unterkühlung in jedem Fall zu vermeiden.
- Bei Neugeborenen, die eine Atemunterstützung benötigen, soll die Verwendung von erwärmtem und befeuchtetem Atemgas in Betracht gezogen werden.
- Es hat sich gezeigt, dass die Etablierung eines Programms zur Qualitätsverbesserung, das die Verwendung von Checklisten und ein kontinuierliches Feedback an das Team umfasst, die Unterkühlung zum Zeitpunkt der Aufnahme bei Frühgeborenen signifikant reduziert.

Geburten außerhalb des Krankenhauses

- Neugeborene, die unerwartet außerhalb der üblichen klinischen Entbindungsbereiche geboren werden, haben ein höheres Risiko für Unterkühlung. Dies kann mit einem schlechteren Outcome verbunden sein.
- Für Neugeborene, die außerhalb der üblichen Entbindungsbereiche geboren werden, ist es möglicherweise sinnvoll, sie nach dem Trocknen zunächst in eine Plastikfolie zu hüllen und diese dann mit Stoffwindeln zu umwickeln. Alternativ können gesunde Neugeborene ab 30 Schwangerschaftswochen nach dem Trocknen zugedeckt der Mutter (vorausgesetzt, dass diese selbst normotherm ist) nackt auf die Brust gelegt werden, um während des Transports die Temperatur zu halten (*Anmerkung der*

AutorInnen der deutschen Fassung: In den deutschsprachigen Ländern ist ein Transport des Kindes auf dem Arm der Mutter aus versicherungsrechtlichen Gründen nicht üblich). Neugeborene sollen zugedeckt und vor Zugluft geschützt sorgfältig überwacht werden, um eine Unterkühlung zu vermeiden und sicherzustellen, dass Atemwege und Atmung nicht beeinträchtigt sind.

Abnabeln

- Unbeeinträchtigte Neugeborene, die keine Reanimationsmaßnahmen benötigen, sollen verzögert, frühestens nach 1 min, abgenabelt werden. In diesen Fällen kann es darüber hinaus vorteilhaft sein, noch länger mit dem Abnabeln zu warten.
- Das Abnabeln soll idealerweise erst nach der Belüftung der Lunge erfolgen.
- Unter Umständen können die ersten unterstützenden Maßnahmen nach der Geburt noch bei intakter Nabelschnur vorgenommen werden, sofern sie sicher und effektiv durchführbar sind und ein effektives Wärmemanagement gewährleistet ist.
- Wenn ein verzögertes Abnabeln nicht möglich ist, kann das Ausstreifen der Nabelschnur bei Neugeborenen ab 28 + 0 Schwangerschaftswochen in Betracht gezogen werden.
- Vor der Geburt sollen mit den Eltern die möglichen Vorgehensweisen beim Abnabeln und die zugrunde liegenden Überlegungen diesbezüglich besprochen werden.

Initiale Beurteilung

■ Abb. 3

Die initiale Beurteilung des Neugeborenen nach der Geburt kann bereits vor dem Abnabeln (auf Basis folgender Parameter und zumeist in der angegebenen Reihenfolge) erfolgen:

- **Muskeltonus** (und Hautkolorit).
- **Qualität der Spontanatmung.**
- **Herzfrequenz.**

- Die simultane Erfassung der oben genannten Parameter dient dazu, den Ausgangszustand zu beurteilen, die Notwendigkeit unterstützender Maßnahmen bzw. einer Reanimationspflichtigkeit einzuschätzen und damit auch den optimalen Abnabelungszeitpunkt zu bestimmen.
- Die regelmäßige Wiederbeurteilung von Atmung und Herzfrequenz ist erforderlich, um möglichst rasch und effektiv zu erkennen, ob das Neugeborene eine physiologische Anpassung zeigt oder mitunter im Verlauf weiterführende unterstützende Maßnahmen notwendig sind.
- Bereits in dieser Phase muss unbedingt darauf geachtet werden, dass das Neugeborene vor Auskühlung geschützt wird.

Taktile Stimulation

Bereits die ersten Maßnahmen während der Beurteilung können genutzt werden, um das Neugeborene zu stimulieren und damit das Einsetzen einer Spontanatmung zu fördern:

- Trocknen Sie das Neugeborene ab.
- Stimulieren Sie es dabei sanft, indem Sie z. B. über die Fußsohlen streichen oder über den Rücken reiben. Vermeiden Sie unbedingt eine zu aggressive Stimulation.

Muskeltonus und Hautkolorit

- Ein deutlich hypotones Neugeborenes benötigt wahrscheinlich unterstützende Beatmungen.
- Das Hautkolorit ist nur sehr schlecht zur Beurteilung der Sauerstoffsättigung geeignet. Eine Zyanose kann grundsätzlich schwer zu erkennen sein. Eine ausgeprägte Blässe kann auf einen Schock hinweisen, seltener auf einen Blutverlust und eine Hypovolämie. Besteht der Verdacht auf einen Blutverlust müssen umgehend Maßnahmen diesbezüglich geplant und unternommen werden.

Atmung

- **Atmet das Neugeborene?** – Beurteilen Sie die Atemfrequenz, die Atemarbeit/Anstrengungen bzw. Atemtiefe und achten Sie auf symmetrische

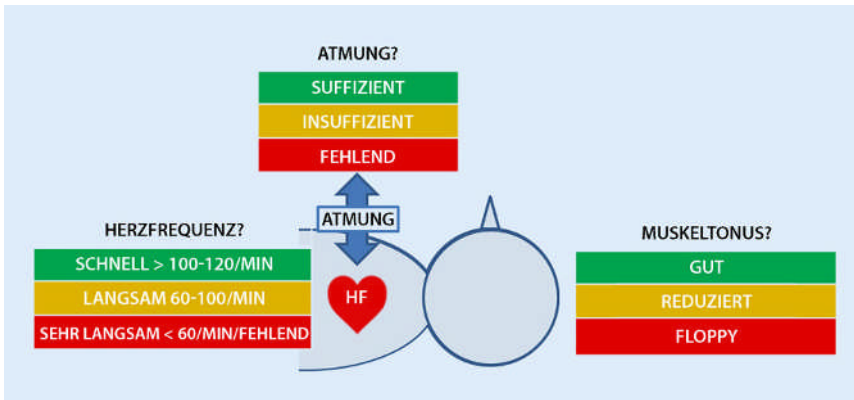


Abb. 3 ▲ Initiale Beurteilung von Muskeltonus, Atmung und Herzfrequenz

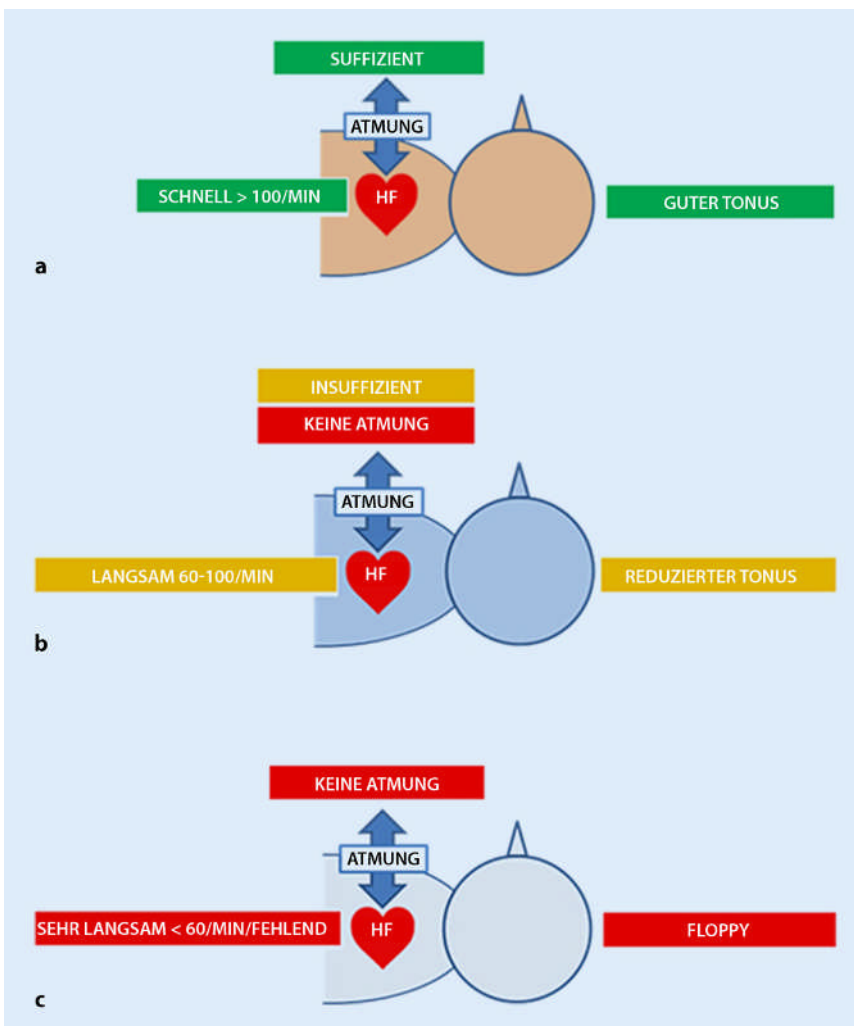


Abb. 4 ▲ a Zufriedenstellende Anpassung, b Beeinträchtigte Anpassung, c Schwer beeinträchtigte bzw. nicht erfolgte Anpassung

Bewegungen des Brustkorbs, um die Spontanatmung zu bewerten als:

- Suffizient.
- Insuffizient/pathologische Atemmuster – wie Schnappatmung oder Stöhnen.
- Fehlend.

Herzfrequenz

- Bestimmen Sie die Herzfrequenz mit einem Stethoskop und einem Sättigungsmonitor +/- EKG (für das spätere kontinuierliche Monitoring).
 - Schnell ($\geq 100/\text{min}$) – normal.
 - Langsam ($60\text{--}100/\text{min}$) – mögliche Hypoxie.
 - Sehr langsam/nicht vorhanden ($< 60/\text{min}$) – kritisch, Hypoxie wahrscheinlich.

Wenn das Neugeborene nach der initialen Beurteilung und unter taktiler Stimulation keine suffiziente Spontanatmung zeigt und/oder die Herzfrequenz nicht ansteigt (und/oder nach anfänglichem Anstieg wieder sinkt), muss mit einer Atemunterstützung begonnen werden.

Einteilung von Neugeborenen auf Basis der initialen klinischen Beurteilung

Anhand der initialen klinischen Beurteilung lassen sich Neugeborene in drei Gruppen einteilen:

1. (Abb. 4a)

- Guter Muskeltonus.
- Suffiziente Atmung/kräftiges Schreien.
- Herzfrequenz $\geq 100/\text{min}$.

Beurteilung: *zufriedenstellende Anpassung* – die Atmung muss nicht unterstützt werden. Die Herzfrequenz ist zufriedenstellend.

Maßnahmen:

- Verzögertes Abnabeln.
- Trocknen und in warme Tücher einwickeln.
- Das Neugeborene verbleibt bei der Mutter und kann ihr auf die Brust gelegt werden. Es wird darauf geachtet, dass beide nicht auskühlen.

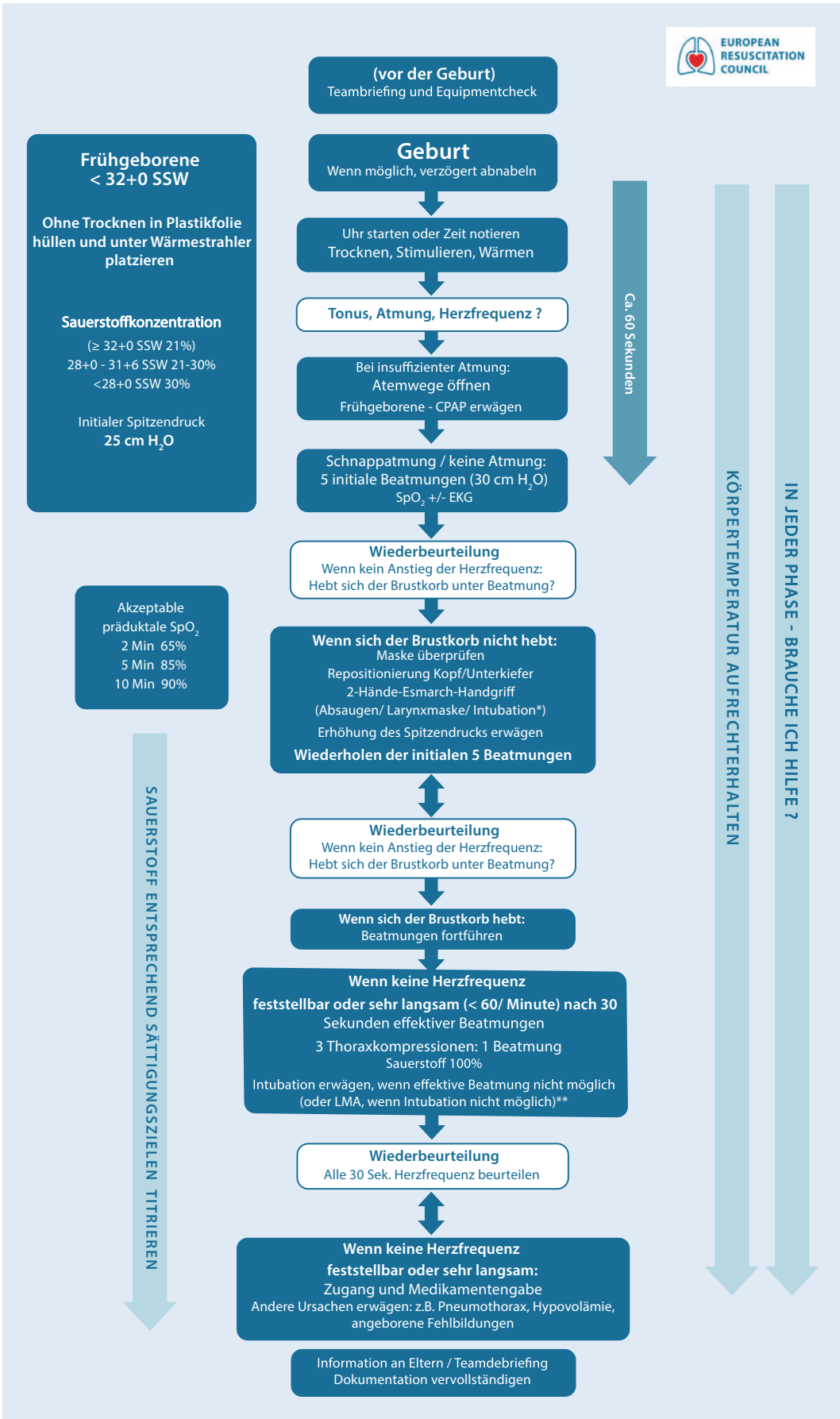


Abb. 5 ◀ Algorithmus der Neugeborenenreanimation. *Sternchen* Werden alle beschriebenen Maßnahmen zur Optimierung der Beatmung (Erhöhung des Spitzendrucks, 2-Hände-Esmarch-Handgriff, Guedel-Tubus, evtl. LMA) konsequent ausgeschöpft, ist eine Intubation zu diesem Zeitpunkt nur in sehr seltenen Fällen notwendig. (Anmerkung der AutorInnen der deutschen Fassung). *Doppelsternchen* Im englischen Original steht hier die Formulierung „Consider Intubation if not done already (or laryngeal mask if intubation not possible)“. Für die AutorInnen der deutschen Fassung impliziert diese Formulierung einen zu starken Aufforderungscharakter und die AutorInnen möchten darauf hinweisen, dass es keine Evidenz dafür gibt, dass eine Intubation zu diesem Zeitpunkt das Outcome eines reanimationspflichtigen Neugeborenen tatsächlich verbessert. Darüber hinaus besteht Übereinkunft, dass die Fertigkeit, eine Intubation, insbesondere im Rahmen einer Neugeborenenreanimation, sicher und effektiv durchzuführen, begrenzt ist und in den letzten Jahren zudem durch neue Versorgungsstrategien in der Neonatologie noch deutlich abgenommen hat. Die AutorInnen der deutschen Fassung möchten daher festhalten: Wenn sich der Brustkorb unter Beatmung zwischen den Thoraxkompressionen hebt, muss sehr gut abgewogen werden, ob eine Intubation zu diesem Zeitpunkt tatsächlich einen Vorteil bedeutet. Möglicherweise führt eine Intubation zu diesem Zeitpunkt zu einer Beeinträchtigung der Reanimationsmaßnahmen und zu einer Verzögerung weiterer Maßnahmen (z. B. Legen eines Notfallzugangs und Medikamentengabe). Mitunter kann eine Intubation zu diesem Zeitpunkt, insbesondere wenn sie nicht schnell und sicher durchgeführt werden kann, das Outcome des Neugeborenen verschlechtern

- Bei stabilen Neugeborenen ist ein früher Hautkontakt auf der Brust der Mutter grundsätzlich anzustreben.

2. (▣ Abb. 4b)

- Reduzierter Muskeltonus.
- Insuffiziente Spontanatmung oder Apnoe.
- Herzfrequenz < 100/min.

Beurteilung: *beeinträchtigte Anpassung* – die Atmung muss unterstützt werden, die langsame Herzfrequenz kann auf eine Hypoxie hinweisen.

Maßnahmen:

- Verzögern Sie das Abnabeln nur, wenn das Neugeborene trotzdem effektiv versorgt werden kann.
- Trocknen und stimulieren Sie das Neugeborene und wickeln Sie es in ein warmes Tuch.
- Öffnen Sie die Atemwege.
- Belüften Sie die Lunge und beatmen Sie das Neugeborene.
- Beurteilen Sie regelmäßig Veränderungen der Herzfrequenz und Atmung sowie die Effektivität Ihrer Beatmung.
- Wenn die Herzfrequenz nicht steigt, fahren Sie mit der Beatmung fort.
- Möglicherweise ist weitere Hilfe erforderlich.

3. (▣ Abb. 4c)

- Schlaffer Muskeltonus („floppy“) +/- Blässe.
- Insuffiziente Spontanatmung oder Apnoe.
- Herzfrequenz < 60/min oder nicht nachweisbar.

Beurteilung: *schwer beeinträchtigte bzw. nicht erfolgte Anpassung* – die Atmung muss umgehend unterstützt werden, die Herzfrequenz deutet auf eine schwere Hypoxie hin.

Maßnahmen:

- Sofort abnabeln und zur Weiterversorgung auf eine Reanimationseinheit legen. Verzögern Sie das Abnabeln auch hier nur, wenn Sie das Kind trotzdem effektiv versorgen bzw. reanimieren können.
- Trocknen und stimulieren Sie das Neugeborene und wickeln Sie es in ein warmes Tuch.
- Öffnen Sie die Atemwege.
- Belüften Sie die Lunge und beatmen Sie das Neugeborene.
- Beurteilen Sie regelmäßig die Herzfrequenz und Atmung, sowie die Effektivität Ihrer Beatmung.
- Fahren Sie mit den im Algorithmus zur Neugeborenenreanimation beschriebenen weiteren Reanimationsmaßnahmen in Abhängigkeit vom klinischen Zustand des Kindes fort.
- Sehr wahrscheinlich wird zusätzliche Hilfe benötigt.

Frühgeborene

- Für die Reanimation von Neugeborenen gelten die gleichen oben beschriebenen Prinzipien.
- Erwägen Sie alternative/ergänzende Maßnahmen zum Wärmeerhalt, z. B. die Verwendung einer Polyethylenfolie.
- Wenn das Frühgeborene spontan atmet, unterstützen Sie die Atmung mittels CPAP.
- Erwägen Sie ein kontinuierliches Monitoring (Pulsoxymetrie +/-

EKG) anstatt einer intermittierenden klinischen Beurteilung (z. B. durch wiederholtes Tasten des Pulses oder durch Auskultation).

Die Reanimation des Neugeborenen – Newborn Life Support

Setzen Sie nach der initialen Beurteilung und den ersten Maßnahmen zur Atemunterstützung die Beatmung fort, wenn

- das Neugeborene keine suffiziente und regelmäßige Spontanatmung entwickelt oder
- die Herzfrequenz weiter unter 100/min liegt.

Bei den meisten Neugeborenen ist nach dem Öffnen der Atemwege lediglich eine kurze Maskenbeatmung notwendig, damit sich das Neugeborene erholt und eine suffiziente Spontanatmung einsetzt. Alle weiteren Maßnahmen werden jedoch erfolglos bleiben, wenn diese ersten beiden Schritte, das Öffnen der Atemwege und die Belüftung der Lunge, nicht erfolgreich durchgeführt wurden.

Atemwege

Beginnen Sie mit Reanimationsmaßnahmen, wenn die initiale Beurteilung zeigt, dass das Neugeborene keine suffiziente Spontanatmung hat oder die Herzfrequenz < 100/min liegt (▣ Abb. 5).

Das Öffnen und das Offenhalten der Atemwege sind initial und im weiteren Verlauf die entscheidenden Maßnahmen, um das Einsetzen einer suffizienten Spontanatmung zu unterstützen. Auch alle Re-

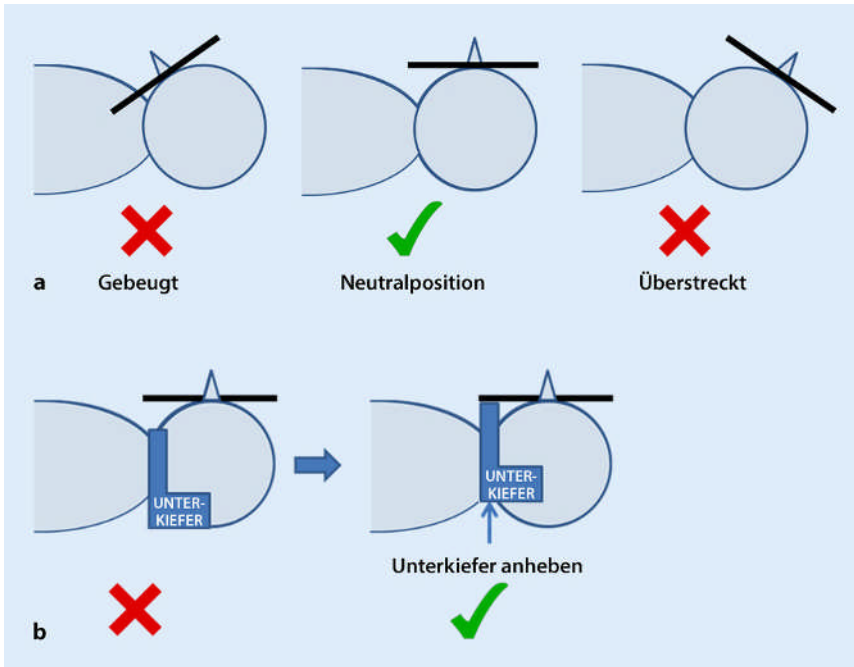


Abb. 6 ▲ a Kopf in Neutralposition (mittleres Bild), weder gebeugt (links) noch überstreckt (rechts). b Esmarch-Handgriff

animationsmaßnahmen (wie Beatmungen und Thoraxkompressionen) können nur erfolgreich sein, wenn die Atemwege suffizient geöffnet wurden und offen gehalten werden.

Techniken zum Öffnen der Atemwege

- Lagern Sie das Neugeborene in Rückenlage mit dem Kopf in Neutralposition (▣ Abb. 6a).
- Um die Atemwege eines hypotonen Neugeborenen zu öffnen bzw. offen zu halten und die Leckage unter Maskenbeatmung zu verringern, ist das Vorziehen des Unterkiefers (Esmarch-Handgriff) die entscheidende Maßnahme (▣ Abb. 6b). Die Durchführung des Esmarch-Handgriffs mit zwei Händen ermöglicht dabei ein noch besseres Vorziehen des Unterkiefers und eine noch effektivere Maskenbeatmung. Für die manuelle Beatmung wird dann allerdings eine zweite Person benötigt.
- Die Verwendung eines Guedel-Tubus (oropharyngeale Atemwegshilfe) kann bei reifen Neugeborenen hilfreich sein, wenn die Beatmung Schwierigkeiten bereitet oder die oberen Atemwege anatomisch verlegt

sind, z. B. bei Patienten mit einer ausgeprägten Mikrognathie. Bei Frühgeborenen $\leq 34 + 0$ Schwangerschaftswochen sollen Guedel-Tuben nur mit Vorsicht verwendet werden, da sie selbst eine Atemwegsobstruktion hervorrufen oder verstärken können.

- Ein Wendl-Tubus (nasopharyngeale Atemwegshilfe) kann ebenfalls in Betracht gezogen werden, wenn Schwierigkeiten beim Offenhalten der Atemwege oder der Maskenbeatmung bestehen.

Verlegung der Atemwege

- Eine Obstruktion der oberen Atemwege kann ihre Ursache, insbesondere bei Frühgeborenen, in einer falschen Kopfposition, einem generell verminderten Atemwegstonus und/oder einer Engstellung des Larynx haben.
- Echte mechanische Hindernisse sind selten. Ein Absaugen der oberen Atemwege ist nur erforderlich, wenn – nach Ausschluss aller anderen Ursachen für eine insuffiziente Beatmung – unter direkter Sicht Schleim, Käseschmiere, Mekonium oder Blutgerinnsel als die Ursache der

Atemwegsobstruktion im Pharynx identifiziert werden können.

- Das Absaugen des Pharynx soll dann unter direkter Sicht, idealerweise mit einem Laryngoskop und einem großlumigen Katheter erfolgen.

Mekonium

- Bei nichtvitalen Neugeborenen mit mekoniumhaltigem Fruchtwasser besteht ein erhebliches Risiko, dass diese weiterführende Reanimationsmaßnahmen benötigen. Zumeist ist in diesen Situationen daher ein erfahrenes neonatologisches Versorgungsteam erforderlich, das über Erfahrung und Training in der Reanimation von Neugeborenen verfügt.
- Da ein routinemäßiges tracheales Absaugen der Atemwege in diesen Situationen wahrscheinlich den Beginn effektiver Beatmungen verzögert, ist es nicht mehr empfohlen. Derzeit gibt es keine wissenschaftlichen Belege, die die Vorteile eines routinemäßigen trachealen Absaugens nahelegen. Daher soll bei nicht oder nicht suffizient atmenden Neugeborenen mit mekoniumhaltigem Fruchtwasser so schnell wie möglich ohne Verzögerungen mit einer Beatmung begonnen werden.
- Sollte sich allerdings zeigen, dass sich der Brustkorb unter Beatmung nicht hebt bzw. die Beatmung ineffektiv erscheint, muss jetzt eine Obstruktion der Atemwege mit Mekonium als Ursache ausgeschlossen werden. In diesem Fall soll eine Absaugung unter direkter Sicht in Erwägung gezogen werden. Eine tracheale Intubation, sowie ein tracheales Absaugen ist allerdings nur selten notwendig, um die Atemwegsobstruktion zu beheben.

Initiale Beatmungshübe und assistierte Beatmung

Belüftung der Lunge

▣ Abb. 7

- Bei apnoischen oder nicht suffizient atmenden Neugeborenen soll so schnell wie möglich, idealerweise innerhalb der ersten 60 s nach der

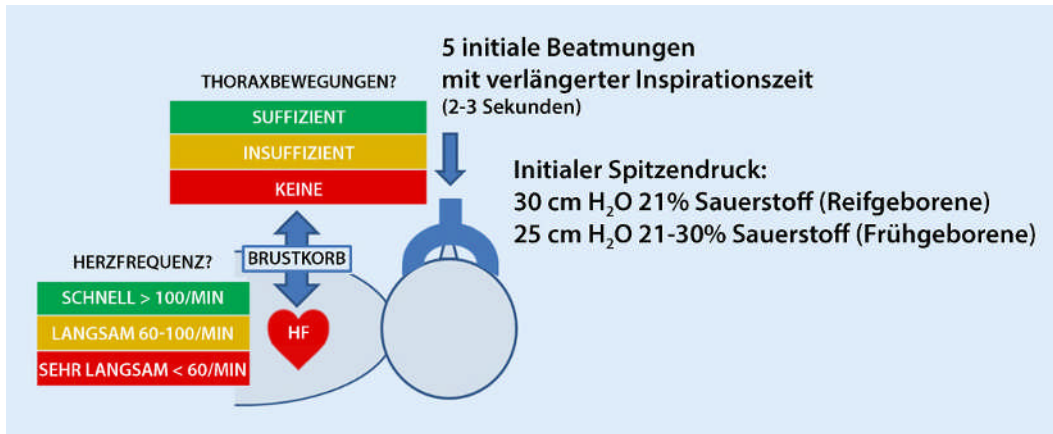


Abb. 7 ◀ Fünf initiale Beatmungshübe mit verlängerter Inspirationszeit über 2–3 s. Beurteilen Sie Thoraxbewegungen und die Herzfrequenz

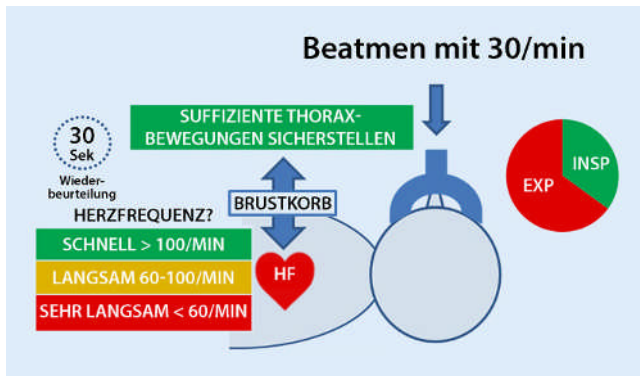


Abb. 8 ◀ Sobald suffiziente Beatmungen verabreicht werden konnten, ventilieren Sie mit einer Frequenz von etwa 30 Beatmungen/min. Überprüfen Sie regelmäßig (oder kontinuierlich) die Herzfrequenz

Geburt, mit einer Maskenbeatmung begonnen werden.

- Verwenden Sie eine Beatmungshilfe, die eine Überdruckbeatmung ermöglicht, zusammen mit einer Maske passender Größe mit guter Passform.
- Geben Sie fünf **initiale Beatmungshübe mit einer verlängerten Inspirationszeit von 2 bis 3 s**.
- Starten Sie bei reifen Neugeborenen mit einem Spitzendruck von 30 cm H₂O und beginnen Sie mit 21 % Sauerstoff (Raumluft). Für Frühgeborene vor 32 + 0 Schwangerschaftswochen soll der anfängliche Spitzendruck auf 25 cm H₂O reduziert werden und die Beatmung mit 21–30 % Sauerstoff begonnen werden (siehe auch „Raumluft/Sauerstoff“).

Beurteilung

- Überprüfen Sie die **Herzfrequenz**
 - Ein rascher Anstieg der Herzfrequenz (innerhalb von 30 s) oder eine stabil-hohe Herzfrequenz sind der beste Hinweis für eine erfolgreiche Belüftung der Lungen und Oxygenierung.

- Eine langsame oder sehr langsame Herzfrequenz deutet normalerweise auf eine anhaltende Hypoxie hin und hat ihre Ursache zumeist in einer ineffektiven Beatmung.
- Überprüfen Sie daher, ob **sich der Thorax bewegt**.
 - Eine sichtbare passive Thoraxexkursion unter Beatmung deutet auf einen freien Atemweg und ein adäquates Tidalvolumen hin.
 - Wenn sich der Thorax nicht hebt, kann dies auf eine Obstruktion der Atemwege oder einen unzureichenden Spitzendruck und ein inadäquates Tidalvolumen zur Belüftung der Lunge hinweisen.

Brustkorbhebung unter Beatmung

▣ Abb. 8

- Wenn sich der Brustkorb hebt und die Herzfrequenz unter Beatmung ansteigt:
- Setzen Sie die kontinuierliche Beatmung fort, bis das Neugeborene eine suffiziente Spontanatmung zeigt und die Herzfrequenz über 100/min liegt.
 - Beatmen Sie idealerweise mit einer Frequenz von 30 Beatmungen/min

mit einer Inspirationszeit von weniger als einer Sekunde.

- Reduzieren Sie den Spitzendruck im Verlauf, wenn sich der Thorax ausreichend hebt.
- Überprüfen Sie die Herzfrequenz und die Atmung mindestens alle 30 s.
- Erwägen Sie eine Atemwegssicherung (Larynxmaske/Tubus), wenn das Neugeborene auch unter langer Beatmung keine suffiziente Spontanatmung entwickelt oder eine Maskenbeatmung (trotz Maßnahmen zur Optimierung der Maskenbeatmung, wie 2-Hände-Esmarch-Handgriff und Verwendung von Atemwegshilfen, s. unten) nicht effektiv ist.

Keine Brustkorbhebung unter Beatmung

Kommt es zu **keinem** Anstieg der Herzfrequenz und der Thorax hebt sich **nicht** unter Beatmung, dann

- überprüfen Sie, ob das Equipment, das zur Beatmung verwendet wird, ordnungsgemäß funktioniert.
- Optimieren Sie die Kopfposition und das Vorziehen des Unterkiefers (Esmarch-Handgriff).
- Überprüfen Sie die Größe, Positionierung und Dichtigkeit der Beatmungsmaske.
- Erwägen Sie alternative Atemwegs- und Beatmungstechniken:
 - 2-Helfer-Esmarch-Handgriff.
 - Inspektion des Mund-Rachenraums und ggf. Absaugen unter Sicht, um eine mechanische Atemwegsobstruktion zu beseitigen.

- Verwendung eines Guedel- (oder Wendel-)Tubus oder einer Larynxmaske.
- Eine tracheale Intubation ist zu diesem Zeitpunkt nur selten notwendig. (Anmerkung der AutorInnen der deutschen Fassung).
- Erwägen Sie zudem eine schrittweise Erhöhung des Spitzendrucks.
- Wird ein Gerät zur Messung von Spitzendruck, Tidalvolumen und Leckage unter Beatmung verwendet (sog. „Atemfunktionsmonitoring“), überprüfen Sie, ob das ausgeatmete Tidalvolumen (VT) nicht zu niedrig oder zu hoch ist (Zielbereich 5 bis 8 ml/kgKG).

Wenn sich der Brustkorb jetzt hebt:

- Wiederholen Sie die **5 Beatmungen mit verlängerter Inspirationszeit von 2 bis 3 s**.
- Beurteilen Sie kontinuierlich die Herzfrequenz und die Thoraxbewegungen.

Wird tatsächlich eine tracheale Intubation oder die Verwendung einer Larynxmaske in Erwägung gezogen, muss dies durch in der erweiterten Atemwegssicherung erfahrenes Personal mit für diese Patientengruppe geeignetem Material erfolgen. Andernfalls wird mit der Maskenbeatmung fortgefahren und weitere Hilfe gerufen.

Ohne eine effektive Belüftung der Lunge werden Thoraxkompressionen unwirksam sein. Kommt es daher zu keinem Anstieg der Herzfrequenz unter Beatmung muss unbedingt zunächst die Effektivität der Beatmungen anhand suffizienter Thoraxbewegungen oder anderer Parameter, die eine effektive Beatmung anzeigen (z. B. mittels Atemfunktionsmonitoring), sichergestellt werden, bevor zu Thoraxkompressionen übergegangen werden darf.

Positiver endexpiratorischer Druck (PEEP) und kontinuierlicher positiver Atemwegsdruck (CPAP), Hilfsmittel zur assistierten Beatmung und Atemwegshilfen

Kontinuierlicher positiver Atemwegsdruck (CPAP) und positiver endexpiratorischer Druck (PEEP)

- Bei spontan atmenden *Frühgeborenen* soll zunächst eine Atemunterstützung mittels CPAP nach der Geburt, entweder über eine Maske oder nasale Prongs, erwogen werden.
- Müssen Frühgeborene tatsächlich beatmet werden („positive pressure ventilation“, PPV), sollte dies mit einem Gerät erfolgen, das eine konstante und kontinuierliche PEEP-Applikation von mindestens 5–6 cm H₂O unter Beatmung erlaubt.

Hilfsmittel zur assistierten Beatmung

- Stellen Sie sicher, dass eine Maske in passender Größe verwendet wird, um eine gute Dichtigkeit zwischen Maske und Gesicht zu gewährleisten.
- Verwenden Sie zur Beatmung, vor allem von Frühgeborenen, idealerweise ein flow-basiertes T-Stück-System, welches Beatmungen mit einem standardisierten Spitzendruck und PEEP sowie die Möglichkeit eines reinen CPAP bietet.
- Wird das Neugeborene lediglich mittels CPAP bei der Atmung unterstützt, können nasale Prongs geeigneter Größe hier eine sinnvolle Alternative zu CPAP-Masken darstellen.
- Wird ein sich selbst füllender Beatmungsbeutel zur Beatmung verwendet, soll dieser ein ausreichendes Beutelvolumen aufweisen, um ausreichend hohe Tidalvolumen unter Beatmung zu erreichen. Bei Verwendung eines Beatmungsbeckens ist allerdings auch darauf zu achten, dass keine zu hohen Tidalvolumen verabreicht werden. Ein CPAP kann über einen selbstfüllenden Beatmungsbeutel nicht verabreicht werden.

Larynxmaske (LMA)

- Die Verwendung einer Larynxmaske kann erwogen werden:
 - Bei Neugeborenen ab 34 + 0 Schwangerschaftswochen (entspricht etwa 2000 g – wobei Larynxmasken auch bei Frühgeborenen ab 1500 g erfolgreich eingesetzt werden konnten).
 - Wenn eine Beutel-Maske-Beatmung nicht suffizient gelingt.
 - Wenn eine Intubation aufgrund angeborener Anomalien, mangelnder Ausrüstung oder mangelnder Fähigkeiten nicht möglich ist oder eine erfolgreiche Intubation unter den gegebenen Bedingungen als zu unsicher beurteilt wird.
 - Als Alternative zu einer trachealen Intubation.

Trachealtubus

- Eine tracheale Intubation kann in mehreren Phasen während der Reanimation eines Neugeborenen in Betracht gezogen werden:
 - Wenn alle Manöver zur Optimierung einer Maskenbeatmung (wie oben beschrieben) nicht erfolgreich sind.
 - Bei längerer Beatmung, um den Atemweg zu sichern.
 - Wenn ein Absaugen der unteren Atemwege notwendig erscheint, um eine vermutete Obstruktion der Trachea zu beseitigen.
 - Unter länger andauernden Reanimationsmaßnahmen.
 - Unter besonderen Umständen (z. B. bei einer angeborenen Zwerchfellhernie oder zur Surfactant-Gabe).
- Um eine tracheale Tubuslage zu überprüfen, soll eine endtidale CO₂-Messung verwendet werden.
- Tuben unterschiedlicher Größe sollen immer verfügbar sein. Die ideale Tubusgröße ermöglicht eine suffiziente Belüftung bei möglichst geringer Leckage und geringstem Trauma der Atemwege.
- **Tab. 1**
- Die Verwendung eines Atemfunktionsmonitorings kann ebenfalls dazu beitragen, eine tracheale Tubuslage zu verifizieren. Darüber hinaus kann mit diesem eine suffiziente Venti-

Tab. 1 Ungefähre Einführtiefe des Trachealtubus bei oraler Intubation und Tubusgröße bezogen auf die Schwangerschaftswoche

Gestationsalter (Wochen)	Länge an den Lippen (cm)	Außendurchmesser (mm)
23–24	5,5	2,5
25–26	6,0	2,5
27–29	6,5	2,5
30–32	7,0	3,0
33–34	7,5	3,0
35–37	8,0	3,5
38–40	8,5	3,5
41–43	9,0	4,0

Für eine ungefähre Einführtiefe bei nasaler Intubation noch 1 cm addieren

Tab. 2 Ungefähre Ziel-S_pO₂ in den ersten 10 min für gesunde Neugeborene. (Nach Dawson 7, S. e1340)

Zeit nach der Geburt (min)	Unterer S _p O ₂ -Grenzwert (%)
2	65
5	85
10	90

lation (adäquates expiratorisches Tidalvolumen etwa 5 bis 8 ml/kgKG) und eine minimale Leckage bestätigt werden.

- Die Verwendung eines Videolaryngoskops kann für die tracheale Intubation hilfreich sein.
- Im Verlauf soll die korrekte Tubuslage (tracheale Lage und Tubustiefe) durch eine Bildgebung bestätigt werden.

Raumluft/Sauerstoff

- Während der Reanimation eines Neugeborenen sollen ein Sauerstoffmischer und eine Pulsoxymetrie verwendet werden.
- Innerhalb der ersten 5 Lebensminuten nach der Geburt soll das Neugeborene eine Sauerstoffsättigung zeigen, die über dem 25. Perzentil für gesunde Neugeborene liegt (■ Tab. 2).
- Wenn trotz effektiver Beatmungen kein Anstieg der Herzfrequenz erfolgt oder die Sättigung niedrig bleibt, soll die Sauerstoffkonzentration stufenweise erhöht werden, um eine ausreichende präduktale Sauerstoffsättigung zu erreichen.
- Überprüfen Sie die inspiratorische Sauerstoffkonzentration und die damit erreichte Sättigung regelmäßig (z. B. alle 30s) und passen Sie die Sauerstoffkonzentration ggf. an, um

sowohl eine Hypoxie als auch eine Hyperoxie zu vermeiden.

- Verringern Sie die inspiratorische Sauerstoffkonzentration, wenn die präduktale (rechte Hand) Sättigung 95 % überschreitet.

Reife Neugeborene und Frühgeborene ab 32 + 0 Schwangerschaftswochen

- Beginnen Sie bei reifen Neugeborenen und Frühgeborenen über 32 + 0 Schwangerschaftswochen, die nach der Geburt eine Atemunterstützung benötigen, mit einer Sauerstoffkonzentration von 21 % (Raumluft).

Frühgeborene vor 32 + 0 Schwangerschaftswochen

- Reanimationsmaßnahmen sollen je nach Gestationsalter mit Raumluft oder mit einer niedrigen Sauerstoffkonzentration begonnen werden:
 - ≥ 32 + 0 SSW: 21 %
 - 28 + 0 bis 31 + 6 SSW: 21–30 %
 - < 28 + 0 SSW: 30 %
- Bei Frühgeborenen vor 32 + 0 Schwangerschaftswochen soll eine Sauerstoffsättigung unter 80 % und/oder eine Bradykardie im Alter von 5 min unbedingt vermieden werden, da beides mit einem schlechteren Outcome verbunden ist.

Thoraxkompressionen

Beurteilung der Notwendigkeit von Thoraxkompressionen

■ Abb. 9a

- Wenn die Herzfrequenz **nach 30 s suffizienter Beatmung** sehr langsam bleibt (< 60/min) oder fehlt, beginnen Sie mit Thoraxkompressionen.
- Sobald Thoraxkompressionen durchgeführt werden:
 - Erhöhen Sie die inspiratorische Sauerstoffkonzentration auf 100 %.
 - Verständigen Sie, falls nicht bereits geschehen, umgehend weitere fachkundige Hilfe.

Durchführung von Thoraxkompressionen

■ Abb. 9b

- Führen Sie Thoraxkompressionen und Beatmungen in einem Verhältnis von drei Thoraxkompressionen zu einer Beatmung synchronisiert durch. *Die Kompressionsfrequenz soll etwa bei 120/min liegen (Ergänzung der AutorInnen der deutschen Fassung)*, so lassen sich etwa 15 Zyklen von Thoraxkompressionen und Ventilationen in 30s erreichen.
- Umgreifen Sie für die Thoraxkompressionen nach Möglichkeit den Thorax und verwenden Sie die 2-Daumen-Technik. *Der Druckpunkt soll unterhalb der gedachten Linie zwischen den Mamillen liegen (Ergänzung der AutorInnen der deutschen Fassung)*.
- *Die Kompressionstiefe soll bei etwa 1/3 des Thoraxdurchmessers liegen (Ergänzung der AutorInnen der deutschen Fassung)*.
- Beurteilen Sie den Erfolg der Maßnahmen alle 30s.
- *Anmerkung der Autoren der deutschen Fassung: Im Originaltext steht an dieser Stelle der Satz: „If the heart rate remains very slow or absent, continue but ensure that the airway is secured (e.g. intubate the trachea if competent and not done already).“ Für die AutorInnen der deutschen Fassung impliziert diese Formulierung einen zu starken Aufforderungscharakter und die AutorInnen möchten darauf hinweisen, dass es keine Evi-*

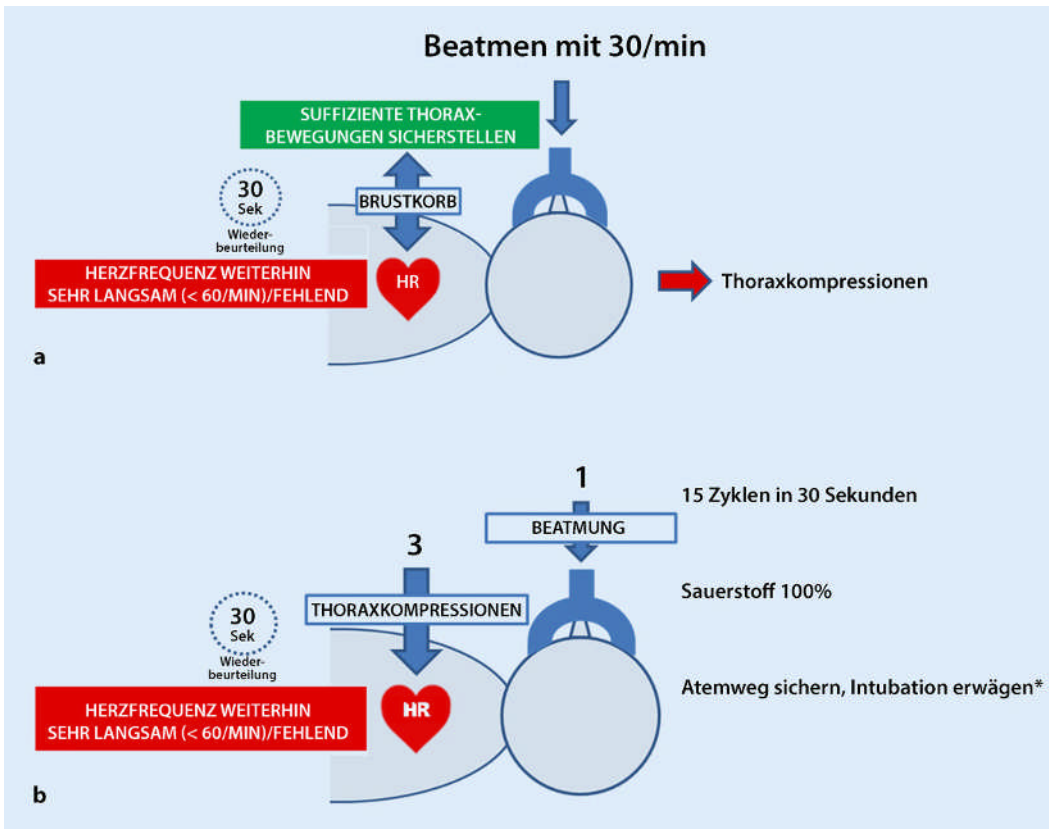


Abb. 9 a Führen Sie 30 s effektive Beatmungen durch und beurteilen Sie erneut die Herzfrequenz. b Wenn die Herzfrequenz sehr langsam bleibt oder fehlt, beginnen Sie mit drei Thoraxkompressionen zu einer Beatmung für 30 s. Überprüfen Sie dann erneut die Herzfrequenz. *Sternchen* Wenn sich der Brustkorb unter Beatmung zwischen den Thoraxkompressionen hebt, muss sehr gut abgewogen werden, ob eine Intubation zu diesem Zeitpunkt tatsächlich einen Vorteil bedeutet (Anmerkung der AutorInnen der deutschen Fassung)

denz dafür gibt, dass eine Intubation zu diesem Zeitpunkt das Outcome eines reanimationspflichtigen Neugeborenen tatsächlich verbessert. Darüber hinaus besteht Übereinkunft, dass die Fertigkeit eine Intubation, insbesondere im Rahmen einer Neugeborenenreanimation, sicher und effektiv durchzuführen, begrenzt ist und in den letzten Jahren zudem durch neue Versorgungsstrategien in der Neonatologie noch deutlich abgenommen hat. Die AutorInnen der deutschen Fassung möchten daher festhalten: Wenn sich der Brustkorb unter Beatmung zwischen den Thoraxkompressionen hebt, muss sehr gut abgewogen werden, ob eine Intubation zu diesem Zeitpunkt tatsächlich einen Vorteil bedeutet. Möglicherweise führt eine Intubation zu diesem Zeitpunkt zu einer Beeinträchtigung der Reanimationsmaßnahmen und zu einer Verzögerung weiterer Maßnahmen (z. B. Legen eines Notfallzugangs und Medikamentengabe). Mitunter kann eine Intubation zu diesem Zeitpunkt, insbesondere wenn sie nicht schnell

und sicher durchgeführt werden kann, das Outcome des Neugeborenen verschlechtern.

- Passen Sie die inspiratorische Sauerstoffkonzentration an die Sauerstoffsättigung an, wenn mit der Pulsoxymetrie ein plausibler Wert gemessen werden kann.

Erwägen Sie

- Gefäßzugang und Medikamente.

Gefäßzugang

Peripherer Zugang

Während der Reanimation eines Neugeborenen nach der Geburt ist der peripherenvenöse Zugang für die Verabreichung von Medikamenten wahrscheinlich schwierig herzustellen und insgesamt suboptimal.

Nabelvenenkatheter

- Die Nabelvene bietet bei Neugeborenen im Allgemeinen einen schnellen Gefäßzugang und soll als Methode der ersten Wahl während der Re-

animation in Erwägung gezogen werden.

- Der Nabelvenenkatheter muss vor der Verwendung entlüftet werden und als „geschlossenes System“ verwendet werden, um Luftembolien während des Einführens zu vermeiden, falls das Kind z. B. durch eine Schnappatmung einen ausreichenden intrathorakalen Unterdruck erzeugt.
- Überprüfen Sie die korrekte Lage durch Aspiration von Blut über den Katheter, bevor Sie Medikamente oder Flüssigkeiten verabreichen.
- Im Notfall kann eine saubere und nicht zwingend sterile Arbeitsweise ausreichend sein.
- Ein Gefäßzugang über die Nabelvene kann eventuell einige Tage nach der Geburt noch möglich sein und kann unter Umständen bei einer postnatalen Verschlechterung als Zugangsweg in Erwägung gezogen werden.

Intraossärer Zugang

- Der intraossäre (i.o.) Zugang stellt eine alternative Methode für den

Notfallzugang zur Gabe von Medikamenten und Flüssigkeiten dar.

Gefäßzugang während der postnatalen Anpassung oder weiteren Versorgung nach erfolgreicher Reanimation („post-resuscitation care“)

- Wenn nach erfolgreicher Reanimation ein venöser Zugang erforderlich ist, kann ein peripherer Gefäßzugang ausreichend sein, sofern nicht mehrere Infusionen zur gleichen Zeit erforderlich sind. In diesem Fall ist wahrscheinlich ein zentraler Gefäßzugang vorzuziehen.
- Der intraossäre Zugang kann kurzfristig ausreichend sein, wenn kein anderer Gefäßzugang möglich ist.

Medikamente

Während der Durchführung von Reanimationsmaßnahmen

Medikamente werden während der Reanimation von Neugeborenen nur sehr selten benötigt und die Evidenz bezüglich ihrer Wirksamkeit ist begrenzt. Bleibt die Herzfrequenz trotz suffizienter Beatmung und Thoraxkompressionen für 30 s unter 60/min, kann die Gabe folgender Medikamente erwogen werden:

- Adrenalin
 - **Indikation:** Wenn die Herzfrequenz trotz suffizienter Beatmung und Thoraxkompressionen weiter unter 60/min liegt.
 - **Applikationsweg:** Bevorzugt intravenös oder intraossär
 - **Dosis:** 10–30 µg/kgKG (0,1–0,3 ml/kgKG 1:10.000 Adrenalin [1000 µg in 10 ml]).
 - **Tracheale Gabe:** Wenn das Neugeborene intubiert ist und kein anderer Zugang verfügbar ist.
 - **Tracheale Dosis:** 50–100 µg/kgKG.
 - Wiederholte Gaben alle 3–5 min, wenn die Herzfrequenz < 60/min bleibt.
- Glukose
 - **Indikation:** Zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Hypoglykämie unter prolongierter Reanimation.
 - **Applikationsweg:** Intravenös oder intraossär

- **Dosis:** 250 mg/kgKG als Bolus (2,5 ml/kgKG 10%ige Glukoselösung)
- Volumentherapie
 - **Indikation:** Bei Verdacht auf Blutverlust oder Schock, der nicht auf andere Reanimationsmaßnahmen anspricht.
 - **Applikationsweg:** Intravenös oder intraossär
 - **Dosis:** 10 ml/kgKG Rh-negatives Blut der Gruppe 0 oder isotonische kristalloide Lösung.
- Natriumbikarbonat
 - **Indikation:** Kann bei längerer, erfolgloser Reanimation unter suffizienter Beatmung in Betracht gezogen werden, um eine intrakardiale Azidose günstig zu beeinflussen.
 - **Applikationsweg:** Intravenös oder intraossär
 - **Dosis:** 1–2 mmol/kgKG Natriumbikarbonat (2–4 ml/kgKG 4,2%ige Lösung), langsame intravenöse Gabe.

In Situationen lang anhaltender Apnoe

- Naloxon
 - **Indikation:** Neugeborene von Müttern, bei welchen eine Opioidgabe bekannt ist, die trotz effektiver Reanimationsmaßnahmen bei gutem Herzzeitvolumen apnoisch bleiben.
 - **Applikationsweg:** Intramuskulär (i.m.)
 - **Dosis:** 200 µg als Initialdosis
 - **Achtung:** Naloxon ist nur kurz wirksam, daher ist im Verlauf ein kontinuierliches Monitoring der Atmung entscheidend.

Wenn sich das Neugeborene trotz suffizienter Reanimationsmaßnahmen nicht erholt

Ziehen Sie andere Faktoren in Betracht, die eine erfolgreiche Reanimation verhindern können und zunächst therapiert werden müssen, z. B. einen Pneumothorax, eine Hypovolämie, angeborene Anomalien oder auch ein Equipmentproblem etc.

Weitere Versorgung nach erfolgreicher Reanimation („post-resuscitation care“)

Auch nach anfänglicher Stabilisierung können sich Neugeborene nach einer Reanimation im weiteren Verlauf erneut klinisch verschlechtern. Sobald Atmung und Kreislauf stabilisiert sind, muss das Neugeborene daher an einen Ort verlegt werden, an dem eine engmaschige Überwachung und weitere intensivmedizinische Therapie erfolgen kann.

Glukose

- Überwachen Sie den Glukosespiegel nach der Reanimation engmaschig.
- Protokolle und Leitlinien zur Behandlung und zum Management des Blutzuckerspiegels nach Reanimation sollen vorhanden sein.
- Verhindern Sie hyper- und hypoglykämische Phasen.
- Verhindern Sie große Schwankungen der Blutglukosewerte.
- Erwägen Sie eine Glukoseinfusion, um eine Hypoglykämie zu vermeiden.

Wärmemanagement

- Halten Sie die Körperkerntemperatur des Neugeborenen zwischen 36,5 und 37,5°C, wenn das Neugeborene die Kriterien für eine therapeutische Hypothermie (siehe unten) nicht erfüllt, und
- wärmen Sie das Neugeborene aktiv, wenn die Temperatur unter diesen Zielbereich fällt.

Therapeutische Hypothermie

- Nach erfolgreicher Reanimation soll erwogen werden, Neugeborene, die klinische und/oder biochemische Hinweise auf ein signifikant erhöhtes Risiko für die Entwicklung einer mittelschweren oder schweren hypoxisch-ischämischen Enzephalopathie aufweisen, einer therapeutischen Hypothermie von 33 bis 34°C zuzuführen.
- Die Einschlusskriterien für eine therapeutische Hypothermie müssen klar definiert und dokumentiert sein. Dazu gehören Nabelschnurblut-

gasanalysen und der neurologische Status des Neugeborenen.

- Sorgen Sie für einen sicheren Transport in eine Einrichtung, in der die erforderliche Behandlung sicher und effektiv durchgeführt werden kann und das Neugeborene kontinuierlich überwacht werden kann.
- Die Durchführung einer therapeutischen Hypothermie ohne Berücksichtigung entsprechender Einschlusskriterien ist wahrscheinlich sogar eher schädlich (siehe Wärmemanagement).

Prognose (Dokumentation)

- Erstellen Sie eine ausführliche Dokumentation, die den Zustand des Neugeborenen nach der Geburt, den Verlauf der Reanimation, alle eingeleiteten Maßnahmen in ihrer zeitlichen Reihenfolge und die Veränderungen des klinischen Zustands des Neugeborenen während der Durchführung dieser Maßnahmen berücksichtigt. Nur in Zusammenschau aller verfügbaren Befunde ist eine Einschätzung der Prognose, ggf. unter zusätzlicher Verwendung spezieller Prognosetools, möglich.

Kommunikation mit den Eltern

Wenn die Durchführung von unterstützenden Maßnahmen bereits vor der Geburt wahrscheinlich ist

- Wann immer möglich, soll die Entscheidung zur aktiven Versorgung z. B. eines extremen Frühgeborenen oder eines Neugeborenen mit einer komplexen klinischen Symptomatik in enger Absprache mit den Eltern und erfahrenen Pädiatern, Hebammen und Geburtshelfern getroffen werden.
- Besprechen Sie bereits vor der Entbindung möglichst alle denkbaren Optionen für die Versorgung, einschließlich der potenziellen Notwendigkeit von Reanimationsmaßnahmen und auch der Grenzen der Versorgung und Prognose, um im Konsens mit allen Beteiligten einen Plan für die Geburt zu entwickeln.

- Dokumentieren Sie alle Diskussionen und Entscheidungen sorgfältig in der Krankenakte der Mutter vor der Entbindung und nach der Geburt in der Krankenakte des Neugeborenen.

Für jede Geburt

- Wenn unterstützende Maßnahmen bzw. Reanimationsmaßnahmen nach der Geburt erforderlich sind, ist es sinnvoll, Eltern und engen Bezugspersonen zu ermöglichen, bei diesen Maßnahmen anwesend zu sein, wann immer die Situation und die Infrastruktur dies zulassen.
- Bezüglich der Entscheidung, ob Eltern während dieser Phase anwesend sein können, sollen sowohl die Bedürfnisse des Teams, das die Reanimation durchführt, als auch die Bedürfnisse der Eltern berücksichtigt werden.
- Unabhängig davon, ob die Eltern bei der Reanimation anwesend sind, muss sichergestellt sein, dass die Eltern über den Zustand des Kindes und die Behandlung ihres Kindes wann immer möglich informiert werden.
- Das Miterleben der Reanimation des eigenen Kindes ist für Eltern eine extrem belastende Situation. Wenn es die Situation zulässt, kann es hilfreich für die Eltern sein, wenn ein Mitglied des Teams die Eltern während der Reanimation betreut und immer wieder über den Zustand des Kindes und die durchgeführten Maßnahmen informiert.
- Ermöglichen Sie den Eltern, so bald wie möglich nach der Entbindung oder auch einer Reanimation, selbst wenn Wiederbelebungsmaßnahmen nicht erfolgreich waren, ihr Kind zu halten bzw. Haut-zu-Haut-Kontakt mit ihrem Neugeborenen herzustellen.
- Klären Sie die Eltern über alle durchgeführten Maßnahmen auf und erklären Sie auch, warum diese so schnell wie möglich nach der Geburt notwendig waren.
- Stellen Sie sicher, dass alle Ereignisse und auch alle nachfolgenden Gespräche mit den Eltern gut dokumentiert sind.

- Bieten Sie den Eltern auch im weiteren Verlauf Gespräche an, die den Eltern helfen sollen, die Ereignisse zu reflektieren, zu begreifen und in der Folge auch aufarbeiten zu können.
- Ziehen Sie zusätzliche Unterstützung für die Eltern (z. B. psychologisch oder seelsorgerisch) nach der Geburt bzw. nach erfolgter Reanimation in Erwägung.

Verzicht auf und Beendigung von Reanimationsmaßnahmen

- Empfehlungen bezüglich des Verzichts auf oder der Beendigung von Reanimationsmaßnahmen müssen grundsätzlich immer auf Basis aktueller nationaler und regionaler Outcomedaten interpretiert und getroffen werden.
- Wann immer Reanimationsmaßnahmen abgebrochen, zurückgenommen oder begründet vorenthalten werden, muss das Therapieziel auf das Wohlbefinden und ein Sterben in Würde für das Neugeborene und dessen Familie geändert werden.
- Diese Entscheidungen sollen idealerweise immer unter Einbeziehung erfahrener NeonatologInnen bzw. KinderärztInnen getroffen werden.

Beendigung von Reanimationsmaßnahmen

- Regionale und nationale Organisationen legen zumeist Empfehlungen zur Beendigung von Reanimationsmaßnahmen fest.
- Wenn bei einem gerade geborenen Neugeborenen die Herzfrequenz länger als 10 min nicht nachweisbar ist, beurteilen Sie alle klinischen Faktoren (z. B. Schwangerschaftswoche, Fehlbildungen) und überprüfen Sie die Effektivität der Reanimationsmaßnahmen. Holen Sie sich darüber hinaus die Ansichten der anderen Teammitglieder in Bezug auf die weitere Fortsetzung der Reanimationsmaßnahmen ein.
- Wenn die Herzfrequenz eines Neugeborenen nach der Geburt länger als 20 min nicht nachweisbar ist, obwohl alle Reanimationsmaßnahmen technisch korrekt durchgeführt

werden und reversible Ursachen ausgeschlossen wurden, kann es angemessen sein, eine Beendigung der Wiederbelebnungsmaßnahmen zu erwägen.

- Wenn es unter Durchführung technisch korrekter Reanimationsmaßnahmen lediglich zu einer teilweisen Verbesserung des klinischen Zustands bzw. zu einem unzureichenden Anstieg der Herzfrequenz kommt, ist eine Entscheidung deutlich schwieriger zu treffen. Es kann in diesen Situationen angebracht sein, das Neugeborene zunächst auf die Intensivstation zu verlegen und in Zusammenschau aller weiteren Befunde einen Abbruch der lebenserhaltenden Maßnahmen erst in weiterer Folge in Erwägung zu ziehen, sofern sich der klinische Zustand des Neugeborenen nicht bessert.
- Wenn eine lebenserhaltende Behandlung nicht durchgeführt oder beendet wird, muss eine angemessene palliative Therapie („Comfort Care“) im Vordergrund stehen.

Verzicht auf Reanimationsmaßnahmen

- Auch Entscheidungen über das Nichtdurchführen lebenserhaltender Maßnahmen sollen idealerweise nur in Absprache mit den Eltern und auf Basis aktueller nationaler und regionaler Outcomedaten getroffen werden.
- In Situationen, in denen eine extrem hohe (>90%) prognostizierte neonatale Sterblichkeit und eine inakzeptabel hohe Morbidität bei den überlebenden Neugeborenen wahrscheinlich ist, ist die Einleitung von Reanimationsmaßnahmen und ein aktives (überlebensorientiertes) Management normalerweise nicht angemessen.
- Eine Wiederbelebung ist fast immer unter Bedingungen angezeigt, die mit einer hohen Überlebensrate (>50%) und einer als akzeptabel erachteten Morbidität verbunden sind. Dies schließt die meisten Neugeborenen mit einem Gestationsalter von $\geq 24 + 0$ Schwangerschaftswochen (es sei denn, es bestehen Hinweise auf

eine schwerwiegende fetale Beeinträchtigung, wie eine schwere intrauterine Infektion oder eine Hypoxie bzw. Ischämie) sowie die Mehrzahl der kongenitalen Fehlbildungen mit ein. Reanimationsmaßnahmen sollen im Allgemeinen auch in Situationen eingeleitet werden, in denen Ungewissheit über das Outcome besteht und keine Möglichkeit bestand, in vorherigen Gesprächen mit den Eltern ihre Sichtweise zu erfahren.

- Unter Bedingungen mit geringer prognostizierter Überlebenschance (<50%) und hoher Morbidität und in der Folge mit einer hohen Belastung durch medizinische Behandlungen für das Kind sollen die Wünsche der Eltern hinsichtlich einer aktiven (überlebensorientierten) Versorgung eingeholt und in der Regel unterstützt werden.

Wissenschaftliche Grundlagen, auf deren Basis die Empfehlungen für die Praxis zur Versorgung und Reanimation des Neugeborenen beruhen

Pränatale Faktoren

Anpassung an das Leben nach der Geburt

Die Geburt bedeutet große physiologische Veränderungen während des Übergangs vom fetalen zum extrauterinen Leben. Damit ein adäquater Gasaustausch erfolgen kann, muss Flüssigkeit aus den Lungen entfernt werden und diese müssen belüftet werden [8]. Dieses kritische Ereignis löst eine Folge voneinander abhängiger kardiopulmonaler Veränderungen aus, die den Übergang zum extrauterinen Leben ermöglichen [9]. Spontane Atemanstrengungen (Unterdruck) oder eine weniger effektive künstliche Beatmung (Überdruck) sind unerlässlich, um den notwendigen transpulmonalen Druck zu erzeugen, der erforderlich ist, um die mit Flüssigkeit gefüllte Lunge zu belüften, und eine adäquate funktionelle Residualkapazität herzustellen und aufrechtzuerhalten [10, 11].

Die meisten, aber nicht alle Neugeborenen erleben diese Anpassungspha-

se an das extrauterine Leben völlig ohne Probleme. Einige Neugeborene zeigen Schwierigkeiten bei der Anpassung und müssen, wenn nicht umgehend unterstützende Maßnahmen unternommen werden, letztlich mitunter wiederbelebt werden. Neuere, groß angelegte Beobachtungsstudien weisen darauf hin, dass etwa 85% aller reifen Neugeborenen nach der Geburt ohne Unterstützung spontan atmen. Bei etwa 10% setzt unter Trocknen, taktiler Stimulation, Öffnen der Atemwege und/oder Anwendung von CPAP oder PEEP eine Spontanatmung ein, während ca. 5% eine Überdruckbeatmung benötigen. Die Intubationsraten variieren je nach Studie zwischen 0,4 und 2%. Weniger als 0,3% benötigen Thoraxkompressionen und nur ca. 0,05% eine Adrenalinabgabe [12–18].

Risikofaktoren

Zahlreiche mütterliche und kindliche prä- und intrapartale Faktoren können das Risiko einer komplizierten Geburt erhöhen bzw. zu einer beeinträchtigten Anpassung führen oder postnatale Reanimationsmaßnahmen notwendig machen. In einem kürzlich durchgeführten ILCOR-Evidenz-Update bestätigen die neuesten Studien zuvor bereits identifizierte Risikofaktoren, die die Wahrscheinlichkeit der Notwendigkeit unterstützender Maßnahmen nach der Geburt erhöhen [1, 19–28]. Bisher gibt es allerdings kein universell gültiges Modell zur Vorhersage des Risikos für Reanimationsmaßnahmen nach der Geburt oder der Notwendigkeit unterstützender Maßnahmen während der Anpassungsphase. Die Liste der Risikofaktoren in den Leitlinien kann daher nur unvollständig sein.

Eine elektive Sectio caesarea am Geburtstermin ohne weitere Risikofaktoren scheint das Risiko für Reanimationsmaßnahmen beim Neugeborenen nicht zu erhöhen [20, 29, 30]. Nach neuerlicher Sichtung relevanter Studien und Überprüfung der Evidenz bleiben die ILCOR-Empfehlungen daher unverändert: Wird ein Neugeborenes am Termin durch Kaiserschnitt unter Regionalanästhesie entbunden, soll eine Person anwesend sein, die eine assistierte Beatmung durchführen kann. Es ist nicht erforderlich, dass

eine Person mit Erfahrung in der Intubation von Neugeborenen primär bei dieser Geburt anwesend ist [1].

Bei einer Geburt anwesendes Personal

Die Notwendigkeit von stabilisierenden Maßnahmen oder von Reanimationsmaßnahmen ist nicht immer vor der Geburt vorherzusehen. Daher müssen diejenigen, die eine Geburt durchführen, in der Lage sein, zumindest initiale Reanimationsmaßnahmen effektiv anzuwenden, obwohl zumeist keine dieser Maßnahmen notwendig sind. Darüber hinaus ist entscheidend, dass weitere Unterstützung, wenn sie benötigt wird, schnell verfügbar ist. Die Erfahrung und Fertigkeiten dieses Teams und deren schnelle Verfügbarkeit können das Outcome beeinflussen [31]. Unterschiedliche Institutionen haben sehr unterschiedliche Richtlinien, wann und welche Personen bereits im Voraus bei einer Geburt anwesend sein sollen. Das hat möglicherweise sehr unterschiedliche Patientenoutcomes zur Folge [32]. So ergab ein prospektives Audit von 56 kanadischen neonatologischen Abteilungen, dass nach den zu diesem Zeitpunkt geltenden Leitlinien in 76 % der Fälle Reanimationsmaßnahmen unvorhergesehen durchgeführt werden mussten [33]. In einer Reihe von Videoaufzeichnungen von Reanimationen in zwei norwegischen Level-III-Abteilungen war die Reanimationspflichtigkeit bei 32 % der Reanimationen nicht erwartet [34]. In einer einzelnen neonatologischen Abteilung eines kanadischen Krankenhauses wurden etwa 65 % aller Geburten in Anwesenheit des neonatologischen Teams durchgeführt, bei nur 22 % dieser Neugeborenen war eine mechanische Beatmung notwendig, bei 4,6 % mussten überraschend Reanimationsmaßnahmen durchgeführt werden [19].

Material und Umgebung

Das verfügbare, für die Reanimation von Neugeborenen notwendige Material kann ortsabhängig unterschiedlich sein. Alle Personen, die dieses Material verwenden, müssen sich daher etwaiger Limitationen bewusst sein. Es existieren

Vorschläge zur Standardisierung einer optimalen Ausstattung und Organisation eines Reanimationsraums für Neugeborene [35]. Allerdings konnten bisher keine publizierten Arbeiten eine Outcomeverbesserung aufgrund spezifischer Vorkehrungen zeigen. Die Leitlinien basieren daher auf internationalen Expertenmeinungen [1, 36].

Geplante Hausgeburten

Ein systematischer Review von 8 Studien mit insgesamt 14.637 geplanten Hausgeburten mit geringem Risiko im Vergleich zu 30.177 geplanten Krankenhausgeburten mit geringem Risiko hat gezeigt, dass die Risiken für Morbidität und Mortalität für das Neugeborene vergleichbar waren [37]. Diejenigen, die Hausgeburten durchführen, müssen sich allerdings darüber im Klaren sein, dass Neugeborene bei einer Geburt in häuslichem Umfeld trotz erfolgter geringer Risikoeinschätzung möglicherweise trotzdem Reanimationsmaßnahmen benötigen können, und müssen zwingend auf diese vorbereitet sein [36].

Briefing & Checklisten

Ein Briefing vor der Geburt mit Rollenzuweisung zur Verbesserung der Teamarbeit und -dynamik wird empfohlen [38], obwohl es bisher keine Evidenz für ein verbessertes klinisches Outcome gibt [39]. Ebenso kann die Verwendung von Checklisten während Briefings (und Debriefings) zur Verbesserung der Teamkommunikation und des Teamprozesses beitragen. Auch diesbezüglich ist die Evidenz, inwiefern sich dadurch das klinische Outcome verbessern lässt, bisher begrenzt [40, 41]. Ein kürzlich durchgeführter Review im Rahmen eines ILCOR-Scoping-Verfahrens untersuchte die Auswirkung von Briefings und Debriefings auf das Outcome bei Neugeborenenreanimation und kam zu dem Schluss, dass Briefings oder Debriefings das kurzfristige klinische Outcome von Neugeborenen sowie die Teamperformance verbessern können. Die Auswirkungen auf das Langzeitoutcome sind jedoch weiterhin unklar [1].

Ein Briefing der Familie vor der Entbindung kann die Erwartungen und das

Verständnis über die Ereignisse und Entscheidungen und die Interaktion mit dem versorgenden Team erheblich beeinflussen. Daher ist eine Kontaktaufnahme mit den Eltern im Vorfeld der Geburt, inklusive eines Briefings, häufig Bestandteil nationaler Empfehlungen zur Kommunikation mit Eltern (siehe Abschnitt „Kommunikation mit den Eltern“) [35].

Ausbildung und Training

Eine Metaanalyse zur Reanimation bei Erwachsenen ergab, dass die Teilnahme eines oder mehrerer Mitarbeiter an einem Advanced-Life-Support-Kurs das Patientenoutcome verbessert [42]. Die Forschung zu Trainingsmethoden in der Neugeborenenreanimation entwickelt sich zwar stetig weiter, jedoch sind aufgrund der Heterogenität der Studien und nicht standardisierter Outcomeparameter bisher keine belastbaren Aussagen über die Auswirkung verschiedener Trainingsmethoden auf das klinische Outcome möglich [43–45].

Für die Teilnehmer von Reanimations- oder Auffrischkursen kann ein häufigeres und zeitlich verteiltes Training („spaced learning“) eine Alternative zu einem Training sein, das nur zu einem einzigen Termin angeboten wird („massed learning“) (schwache Empfehlung, sehr schwacher Evidenzgrad) [46]. Lediglich intermittierendes, seltenes Training ohne regelmäßige Auffrischungen führt in jedem Fall zu einem schnellen Verlust der zur Reanimation von Neugeborenen notwendigen Fähigkeiten und Fertigkeiten [47]. Ein häufiges und kurzes simulationsbasiertes Training vor Ort in einem „low-resource setting“ konnte hingegen zumindest das Überleben innerhalb der ersten 24 Lebensstunden von Patienten verbessern [48]. Zwei Beobachtungsstudien, in denen Videoaufzeichnungen von realen Reanimationen anhand von Checklisten analysiert wurden, zeigten ein häufiges Abweichen von den in strukturierten Leitlinien zur Neugeborenenreanimation empfohlenen Maßnahmen und Vorgehensweisen [17, 49]. Dies legt nahe, dass ein Training in Neugeborenenreanimation in jedem Fall häufiger als einmal pro Jahr erfolgen soll.

Allerdings ist das optimale Trainingsintervall noch nicht bekannt [50, 51].

In den ERC-Leitlinien von 2015 wurde ein strukturiertes Ausbildungs- und Trainingsprogramm zur Reanimation von Neugeborenen empfohlen und durch zwei systematische Reviews und Metaanalysen bestätigt [36]. Ein Cochrane-Review von 14 Studien (18.080 Geburten) zeigte allerdings nur wenig Evidenz, dass durch ein solches Training die frühe Sterblichkeit von Neugeborenen gesenkt werden kann (typisches RR 0,88; 95 %-CI 0,78–1,00) [52]. Ergebnisse einer Metaanalyse von 20 Studien, in denen die Zeiträume vor und nach Reanimationstraining verglichen wurden, mit 1.653.805 eingeschlossenen Geburten zeigten eine Verringerung der perinatalen Mortalität um 18 % (RR 0,82; 95 %-CI 0,74–0,91). Die Ergebnisse dieser Studie mussten jedoch hinsichtlich des Risikos eines Bias und aufgrund des Studiendesigns bezüglich ihrer Aussagekraft herabgestuft werden [45]. Grundsätzlich ist der optimale Trainingsinhalt bzw. das optimale Kursprogramm für Neugeborenenreanimationskurse vor allem von der Organisationsstruktur der Institution und den Bedürfnissen der zu trainierenden Personen abhängig.

Ein kürzlich durchgeführter systematischer ILCOR-Review untersuchte mehrere Studien zu Teamtrainings in Neugeborenenreanimation [53–57]. Regelmäßiges Üben und Skill-Trainings führten zu einer Verbesserung der Teamperformance und Patientensicherheit, da TeilnehmerInnen durch wiederholtes Üben ermöglicht wurde, ihre Fähigkeiten auf individueller Ebene und im Team zu verbessern. Spezifische Team- und Leadership-Trainings sollen daher Bestandteil der Advanced-Life-Support-Kurse für professionelle Helfer sein (schwache Empfehlung, sehr schwacher Evidenzgrad) [39].

Multimodale Ansätze für Schulungen in Neugeborenenreanimation sind wahrscheinlich am sinnvollsten und effektivsten für das Lernen, insbesondere wenn sie simulationsbasiertes Training mit einem Schwerpunkt auf konstruktivem Feedback der Performance beinhalten [44, 52, 58–62]. Das Feedback kann dabei aus verschiedenen Quellen bezogen wer-

den, z. B. vom Trainer, der Reanimations- bzw. Simulationspuppe selbst oder digital (z. B. Video, Audio, Atemfunktionsmonitoring etc.) [39, 62–64]. Die Wertigkeit von Virtual Reality, Online-Schulungen und Brettspielen ist für die Vermittlung von Trainingsinhalten zur Reanimation noch unbekannt. Ein Review von 12 Spielen mit Inhalten zur Reanimation von Neugeborenen hat gezeigt, dass diese Spiele möglicherweise Wissen, Fähigkeiten und die Einhaltung des Reanimationsalgorithmus verbessern können [65].

Feedbackgeräte, die Informationen zur Qualität von Reanimationsmaßnahmen anzeigen, können darüber hinaus z. T. auch in realen Situationen verwendet werden, um die Effektivität von Maßnahmen und die Einhaltung von Algorithmen zu verbessern [39, 66, 67]. Auf Basis der verfügbaren Daten wird eine konstruktive Nachbesprechung der individuellen und der Teamperformance bei Reanimationen sowohl von Erwachsenen als auch von Kindern grundsätzlich empfohlen (schwache Empfehlung, sehr schwacher Evidenzgrad) [39, 68–71]. Dies gilt auch für die Reanimation von Neugeborenen [55, 72, 73].

Wärmemanagement

Nackte, feuchte Neugeborene können ihre Körpertemperatur in einem Raum, selbst wenn dieser sich für Erwachsene angenehm warm anfühlt, nicht halten. Die Mechanismen und Auswirkungen von Kältestress für das Neugeborene und die Strategien, wie dieser vermieden werden kann, wurden bereits intensiv untersucht [74, 75]. Wärmeverlust kann durch Konvektion, Wärmeleitung, Wärmeabstrahlung und Verdunstung auftreten. Neugeborene reagieren daher sehr sensibel auf einen Wärmeverlust und kühlen ohne schützende Maßnahmen sehr schnell aus. Kälte bedeutet grundsätzlich Stress für das Neugeborene, senkt den arteriellen Sauerstoffpartialdruck und erhöht das Risiko einer metabolischen Azidose. Kritisch kranke Neugeborene sind dabei besonders anfällig. Durch das sofortige Abtrocknen und Einwickeln in warme Tücher kann ein starker Wärmeverlust

bei den meisten Neugeborenen vermieden werden. Die Aufnahmetemperatur von nichtasphyktischen Neugeborenen ist grundsätzlich ein starker Prädiktor für Mortalität und Morbidität [76, 77]. Daher empfehlen die aktuellen ILCOR-Leitlinien, dass die Temperatur bei Aufnahme als Prädiktor für das Outcome sowie als Qualitätsindikator (starke Empfehlung, mäßiger Evidenzgrad) immer dokumentiert werden soll [51].

Frühgeborene reagieren besonders sensibel auf einen Wärmeverlust. Die Folge können schwerwiegende Komplikationen wie intraventrikuläre Blutungen, Beatmungsbedarf oder Hypoglykämien sein. In einigen Studien war ein Wärmeverlust auch mit Late-onset-Sepsen verbunden [51]. In einer europäischen Kohortenstudie mit 5697 Neugeborenen unter 32 Schwangerschaftswochen, die auf eine Neugeborenenstation aufgenommen wurden, war eine Temperatur bei Aufnahme <35,5 °C mit einer erhöhten Mortalität in den ersten 28 Lebenstagen assoziiert [78]. Für jede Abnahme der Temperatur bei Aufnahme um 1 °C unter den empfohlenen Zielbereich von 36,5 bis 37,5 °C ist ein Anstieg der Mortalität um 28 % beschrieben [79].

Ein Cochrane-Review mit 46 Studien und 3850 Neugeborenenpaaren („matched pairs“) vor 32 Schwangerschaftswochen, bei denen keine Wiederbelebung erforderlich war, kam zu dem Ergebnis, dass der Haut-an-Haut-Kontakt mit der Mutter die Wärme wirksam aufrechterhalten kann (schwacher Evidenzgrad). Auch die Bindung zur Mutter sowie die Stillrate wurden verbessert (schwacher bis mäßiger Evidenzgrad) [80]. Allerdings haben die meisten Studien zu diesem Thema eine geringe Fallzahl, sind häufig nicht verblindet und weisen oft eine deutliche Heterogenität der Gruppen auf. Ein Haut-an-Haut-Kontakt ist auch für Frühgeborene oder wachstumsretardierte Neugeborene möglich. Allerdings ist bei diesen besondere Sorgfalt geboten, um eine Unterkühlung zu vermeiden. In einer Beobachtungsstudie an einem einzigen Zentrum wurden 55 Neugeborene zwischen 28+0 und 32+6 Schwangerschaftswochen in zwei

Gruppen entweder mit Haut-an-Haut-Kontakt oder konventioneller Wärmebehandlung randomisiert und die mittlere Hauttemperatur gemessen. In der Haut-an-Haut-Gruppe war die Temperatur eine Stunde nach der Geburt um 0,3 °C niedriger (36,3 °C ± 0,52; $p = 0,03$) [81]. Weitere Studien zu diesem Thema sind in Durchführung [82].

Nach einer kürzlich durchgeführten Evidenzaktualisierung des ILCOR, einschließlich eines systematischen Cochrane-Reviews von 25 Studien, darunter 2433 Frühgeborene und Neugeborene mit niedrigem Geburtsgewicht, bleiben die Behandlungsempfehlungen bezüglich des Wärmemanagements gegenüber 2015 unverändert [77]. Es wird empfohlen, dass die Körpertemperatur bei Neugeborenen zwischen 36,5 und 37,5 °C gehalten werden soll, um den metabolischen Stress des Neugeborenen zu verringern (starke Empfehlung, sehr schwacher Evidenzgrad) [1, 51]. Für Frühgeborene vor 32 Schwangerschaftswochen wird zusätzlich zur Verwendung eines Heizstrahlers eine Kombination von weiteren Maßnahmen empfohlen. Diese können aus einer Erhöhung der Umgebungstemperatur auf 23–25 °C, gewärmten Decken, der Verwendung von Plastikfolie ohne vorheriges Abtrocknen, gewärmten Mützen und Wärmematratzen bestehen, um den Wärmeverlust bis zur Aufnahme auf der Neugeborenenintensivstation (NICU) zu verringern (schwache Empfehlung, sehr schwacher Evidenzgrad) [1]. Für Neugeborene unter 28 Schwangerschaftswochen soll die Raumtemperatur idealerweise sogar über 25 °C liegen [74, 75, 83]. Sind keine externen Wärmequellen verfügbar, kann es sinnvoll sein, Frühgeborene zunächst, ohne sie abzutrocknen, in Plastikfolie einzuhüllen und dann mit warmen Windeln zu umwickeln [74, 75, 84].

Auch eine Hyperthermie (> 38,0 °C) soll vermieden werden, da dies ebenfalls mit potenziellen Risiken verbunden ist (schwache Empfehlung, sehr schwacher Evidenzgrad) [1, 51]. Neugeborene fiebernder Mütter haben eine höhere Inzidenz von postnatalen Atemstörungen, Krampfanfällen und Zerebralparen. Auch die frühe neonatale Sterblichkeit scheint erhöht [85–87]. Tiermodell-

studien haben darüber hinaus gezeigt, dass eine Hyperthermie während oder nach einer Ischämie mit einer Vergrößerung des neurologischen Schadens verbunden ist [87].

Eine effektive Überwachung der Körpertemperatur von Neugeborenen ist entscheidend, um Kältestress für diese zu vermeiden. Die Evidenz bezüglich der optimalen Platzierung von Temperatursonden bei Neugeborenen im Kreißsaal ist jedoch begrenzt. In einer Beobachtungsstudie mit 122 Frühgeborenen zwischen 28 und 36 Schwangerschaftswochen, randomisiert bezüglich der Positionierung einer Temperatursonde, wurden am Rücken, Thorax oder axillär vergleichbare Temperaturen gemessen [31]. Bisher gibt es keine publizierten Studien zur vergleichenden Verwendung von Rektaltemperatursonden.

Die Verwendung angewärmter und befeuchteter Atemgase während der Atemunterstützung können das Auftreten einer mäßigen Hypothermie bei Frühgeborenen reduzieren [88]. Eine Metaanalyse von zwei RCT mit 476 Neugeborenen vor 32 Schwangerschaftswochen ergab, dass angewärmte und befeuchtete Atemgase unmittelbar nach der Entbindung die Wahrscheinlichkeit einer Hypothermie bei Frühgeborenen um 36 % verringerten (95 %-CI 17–50 %) (hoher Evidenzgrad) [89, 90]. Es ist unklar, ob auch weitere Outcomeparameter dadurch verbessert wurden. Es konnte kein signifikanter Anstieg des Hyperthermierisikos oder ein Unterschied in der Mortalität zwischen den Gruppen mit befeuchteten und nicht befeuchteten Atemgasen nachgewiesen werden.

Programme zur Qualitätsverbesserung, einschließlich der Verwendung von Checklisten und des kontinuierlichen Feedbacks an die versorgenden Teams, haben gezeigt, dass sich damit die Unterkühlung bei der Aufnahme von Frühgeborenen ebenfalls signifikant reduzieren lässt [83, 91].

Abnabeln

Der Begriff „verzögertes Abnabeln“ („delayed“ oder „deferred cord clamping“, DCC) ist bisher zeitlich nicht klar und allgemein anerkannt definiert. „Verzö-

geretes Abnabeln“ bedeutet lediglich, dass das Abnabeln nicht unmittelbar nach der Geburt des Kindes erfolgt. In neueren systematischen Reviews und Metaanalysen wurde für das frühe oder sofortige Abnabeln („early“ oder „immediate cord clamping“, ICC) ein Zeitraum kleiner als 30 s nach der Geburt definiert. Verzögertes Abnabeln wurde als Zeitraum ab 30 s nach der Geburt oder auch basierend auf physiologischen Parametern (z. B. nach einem Ende der Nabelschnurpulsationen oder nach dem Einsetzen einer Spontanatmung), exklusive eines Ausstreichens der Nabelschnur, definiert [92, 93].

Physiologie des Abnabelns

Beobachtungsdaten, physiologische Studien, Tiermodelle und einige klinische Studien legen nahe, dass das sofortige Abnabeln derzeit weit verbreitet ist und hauptsächlich zur Vorbeugung von postpartalen Blutungen bei Müttern eingeführt wurde. Dabei wurden die potenziellen Nachteile eines frühen Abnabelns bisher möglicherweise unterschätzt [94, 95]. Sofortiges Abnabeln reduziert jedoch die ventrikuläre Vorlast signifikant und erhöht damit gleichzeitig die linksventrikuläre Nachlast [9, 96]. Die Auswirkungen eines frühen Abnabelns wurden in Beobachtungsstudien und experimentellen Tiermodellen [97] beschrieben und zeigen eine Abnahme der Herzgröße für 3–4 Herzzyklen [98] verbunden mit einer Bradykardie [99].

Unterschiede bezüglich der Schwangerschaftswoche

Bei Neugeborenen führt das verzögerte Abnabeln zur Übertragung von ungefähr 30 ml/kgKG Blut aus der Plazenta zum Kind [100]. Dies verbessert den Eisenstatus und die hämatologischen Werte in den ersten 3 bis 6 Lebensmonaten bei allen Neugeborenen und verringert den Transfusionsbedarf bei Frühgeborenen [101, 102]. Bedenken hinsichtlich einer Polyzythämie und damit verbundenen therapiepflichtigen Hyperbilirubinämie bei verzögertem Abnabeln scheinen sich in randomisierten Studien nicht zu bestätigen. Bedenken hinsichtlich der Position des Neugeborenen, in Relation zum Plazentaniveau, bei noch

intakter Nabelschnur, scheinen ebenfalls unbegründet zu sein. Die Auswirkungen der Uteruskontraktion und der Lungenexpansion scheinen einen größeren Einfluss auf die Durchblutung der Nabelschnur zu haben als die Schwerkraft [103, 104].

In einer ILCOR-Metaanalyse von 23 Studien mit 3514 eingeschlossenen Neugeborenen wurde das sofortige Abnabeln mit einem verzögerten Abnabeln von mindestens 30 s bei Frühgeborenen vor 34 Schwangerschaftswochen verglichen. Die Neugeborenen, die verzögert abgenabelt wurden, zeigten dabei eine lediglich marginal verbesserte Überlebensrate (RR 1,02; 95 %-CI 0,993 bis 1,04) (mäßiger Evidenzgrad) [92]. Allerdings konnte die frühe kardiovaskuläre Stabilität verbessert werden, was sich an einer geringeren Notwendigkeit einer inotropen Unterstützung (RR 0,36; 95 %-CI 0,17 bis 0,75) und einem höheren niedrigsten mittleren Blutdruck in den ersten 12–24 Lebensstunden zeigte (MD 1,79 mm Hg; 95 %-CI 0,53 bis 3,05). Die verzögert abgenabelten Neugeborenen hatten zudem bessere hämatologische Werte: Der maximale Hämatokrit war nach 24 Lebensstunden (MD 2,63; 95 %-CI 1,85 bis 3,42) und nach 7 Lebens- tagen (MD 2,70; 95 %-CI 1,88 bis 3,52) höher als in der Vergleichsgruppe. Die Neugeborenen benötigten insgesamt weniger Bluttransfusionen (MD -0,63; 95 %-CI -1,08 bis -0,17). Es konnten keine Auswirkungen auf Komplikationen der Frühgeburtlichkeit, wie schwere intraventrikuläre Blutungen, nekrotisierende Enterokolitis oder chronische Lungenerkrankungen, beobachtet werden. Auch waren keine offensichtlichen nachteiligen Auswirkungen auf andere Outcomeparameter weder bei den Neugeborenen noch den Müttern zu beobachten (mäßiger bis hoher Evidenzgrad). In Untergruppenanalysen schien sich eine fast lineare Beziehung zwischen dem Überleben bis zur Entlassung und der Dauer des verspäteten Abnabelns zu zeigen: Verzögerung beim Abnabeln für ≤ 1 min, RR 1,00 (95 %-CI 0,97–1,04); 1 bis 2 min, RR 1,03 (95 %-CI 1,00–1,05); für > 2 min, RR 1,07 (95 %-CI 0,99–1,15). Keines dieser Ergebnisse war aufgrund der relativ geringen An-

zahl an Patienten allerdings statistisch signifikant.

Für Frühgeborene und späte Frühgeborene („late preterms“) aktualisierte eine ILCOR-Metaanalyse von 33 Studien (5236 Neugeborene), die eine verzögerte Abnabelung mit einer sofortigen Abnabelung für diese Patientengruppe verglich, die Ergebnisse einer früheren Cochrane-Studie aus dem Jahr 2013 [93, 105]. Die Analyse zeigte keinen signifikanten Effekt auf die Mortalität (RR 2,54; 95 %-CI 0,50 bis 12,74; 4 Studien, 537 Neugeborene) oder die Notwendigkeit für Reanimationsmaßnahmen (RR 5,08; 95 %-CI 0,25 bis 103,58; 3 Studien, 329 Neugeborene). Es zeigten sich verbesserte frühe hämatologische Werte und eine Verbesserung allgemeiner Kreislaufparameter (Hämoglobin ≤ 24 Lebensstunden [MD 1,17 g·dl⁻¹; 95 %-CI 0,48 bis 1,86, 9 Studien, 1352 Neugeborene]) und 7 Tage nach der Geburt (MD 1,11 g·dl⁻¹; 95 %-CI 0,40 bis 1,82, 3 Studien, 695 Neugeborene), aber keine Auswirkungen auf eine längerfristige Anämie. Der aktualisierte Review zeigte darüber hinaus keine deutlichen Unterschiede bezüglich der Notwendigkeit einer Phototherapie (RR 1,28; 95 %-CI 0,90 bis 1,82) (schwacher oder sehr schwacher Evidenzgrad). Die Analyse lieferte keine eindeutigen Ergebnisse in Bezug auf das längerfristige neurologische Outcome.

Zum optimalen Abnabelungszeitpunkt sind weitere Studien erforderlich. Die meisten Studien verwenden derzeit eine zeitliche Definition für den Zeitpunkt des Abnabelns. Es gibt daher nicht genügend Daten, um eine „physiologische“ Abnabelung (d. h. nach dem Einsetzen der Atmung) [106] zu empfehlen, auch wenn dies möglicherweise vorteilhaft sein könnte [107]. Physiologische Studien legen allerdings nahe, dass die beobachtete hypoxische und bradykarde Antwort nach sofortigem Abnabeln nicht zu beobachten ist, wenn das Abnabeln erst nach den ersten Atemzügen erfolgt [97, 99, 108].

Bezüglich der Frage, wie sinnvoll die Durchführung von Reanimationsmaßnahmen bei intakter Nabelschnur ist, sind ebenso weitere Studien erforderlich. In den meisten Studien zum verzögerten Abnabeln wurden reanimationspflichti-

ge Neugeborene bisher ausgeschlossen, da die Reanimationsmaßnahmen nur entfernt von der Mutter durchgeführt werden konnten. Mittlerweile sind zwar Geräte verfügbar, die die Durchführung von Reanimationsmaßnahmen an der Seite der Mutter ermöglichen. Erste Studien zeigen, dass bei solchen Neugeborenen eine verzögerte Abnabelung durchführbar ist [109–111]. Der optimale Abnabelungszeitpunkt bleibt für reanimationspflichtige Neugeborene allerdings weiterhin unklar.

Ausstreichen der Nabelschnur („cord milking“)

Ein verzögertes Abnabeln ist kontraindiziert, wenn der Blutfluss über die Plazenta durch eine Ruptur, einen Nabelschnurprolaps, bei einer Placenta praevia, einem Nabelschnurabriss oder einer mütterlichen Blutung beeinträchtigt ist oder sein kann. In diesen Situationen wurde ein Ausstreichen der Nabelschnur bei intakter oder auch bereits durchtrennter Nabelschnur bisher als Alternative angesehen. Beim Ausstreichen der intakten Nabelschnur wird die Nabelschnur drei bis fünf Mal Richtung Neugeborenes ausgestrichen. Ein Neugeborenes kann dadurch bis zu 50 ml zusätzliches „Plazentablut“ erhalten. Der Blutfluss in Richtung des Neugeborenen ist in diesem Fall schneller als der passive Blutfluss während der physiologischen Kontraktionen des Uterus. Nach dem Ausstreichen wird die Nabelschnur geklemmt und durchtrennt und das Neugeborene kann zum Versorgungsbereich gebracht werden [112].

Beim Ausstreichen der bereits durchtrennten Nabelschnur wird das Neugeborene abgenabelt und sofort zum Versorgungsbereich gebracht. Das Ausstreichen erfolgt dann während der Stabilisierung oder unter Reanimationsmaßnahmen. Aus der durchtrennten Nabelschnur wird eine Nabelschnurlänge von etwa 25 cm in Richtung Neugeborenes ausgestrichen. Das übertragene Blutvolumen ist in diesem Fall geringer als beim Ausstreichen der intakten Nabelschnur, resultiert für das Neugeborene jedoch immerhin in noch etwa 25 ml „zusätzlichem“ Blutvolumen [113].

Bei Frühgeborenen vor 34 Schwangerschaftswochen zeigt das Ausstreichen einer intakten Nabelschnur nur vorübergehende Vorteile gegenüber einem sofortigen Abnabeln, u. a. eine geringere Notwendigkeit inotroper Medikamente, weniger Bluttransfusionen und höhere Hämoglobin- und Hämatokritwerte am ersten Lebenstag (jedoch nicht nach sieben Lebenstagen). Es gab keine Unterschiede bezüglich schwerer Morbiditäten bei diesen Neugeborenen (schwacher bis mäßiger Evidenzgrad). Ein Vorteil gegenüber einer verzögerten Abnabelung konnte allerdings ebenso nicht nachgewiesen werden [92]. In Metaanalysen zeigten sich keine Auswirkungen auf die Gesamtmortalität (RR 0,99; 95 %-CI 0,95–1,02). Allerdings musste eine große Studie über das Ausstreichen bei intakter Nabelschnur im Vergleich zur verzögerten Abnabelung vorzeitig abgebrochen werden, da eine Subgruppenanalyse eine Erhöhung an schweren intraventrikulären Blutungen (RD 16 %; 95 %-CI 6 bis 26 %; $p = 0,002$) bei Frühgeborenen vor 28 Schwangerschaftswochen zeigte, bei denen die intakte Nabelschnur ausgestrichen wurde [114].

Aufgrund der begrenzten Datenlage sind derzeit keine Metaanalysen und damit keine Aussagen bezüglich des Ausstreichens der Nabelschnur bei reifen Neugeborenen und späten Frühgeborenen möglich [93].

Initiale Beurteilung

Initiale Beurteilung

Der APGAR-Score ist nicht geeignet und wurde dafür auch nicht entwickelt, um zu entscheiden, ob ein Neugeborenes Reanimationsmaßnahmen benötigt [115]. Eine rasche und simultane Beurteilung einzelner Komponenten des Scores, wie Atemfrequenz, Herzfrequenz und Muskeltonus, ist jedoch hilfreich, um unmittelbar nach der Geburt einschätzen zu können, ob ein Neugeborenes unterstützende Maßnahmen benötigt oder reanimiert werden muss.

Taktile Stimulation

Zahlreiche Methoden der taktilen Stimulation sind beschrieben, die optimale Methode ist jedoch unbekannt [116,

117]. Frühgeborene werden scheinbar häufig nicht stimuliert [117–120], jedoch zeigte eine RCT in einem einzelnen Zentrum bei 51 Frühgeborenen zwischen 28 und 32 Schwangerschaftswochen, dass standardisierte wiederholte Stimulationsmaßnahmen (im Gegensatz zu Stimulationsmaßnahmen, die nur durchgeführt wurden, wenn dies vom Versorgenden als notwendig erachtet wurde) die Atemanstrengung verringerten und die Sauerstoffsättigung verbesserten (S_pO_2 $87,6 \pm 3,3$ % gegenüber $81,7 \pm 8,7$ %; $p = 0,007$) [121]. Im Rahmen einer multizentrischen Beobachtungsstudie in Tansania mit 86.624 eingeschlossenen reifen bzw. nahezu reifen Neugeborenen konnte gezeigt werden, dass nach Einführung eines Basistrainings zur Neugeborenenreanimation und damit verbundener häufigerer Stimulation der Neugeborenen nach der Geburt dies mit einer erhöhten Überlebensrate in den ersten 24 Lebensstunden verbunden war [122].

Muskeltonus und Hautfarbe

Gesunde Neugeborene sind bei Geburt zyanotisch, beginnen jedoch im Allgemeinen innerhalb von etwa 30 s nach dem Einsetzen einer suffizienten Atmung zunehmend rosiger zu werden [123]. Eine periphere Zyanose ist häufig und ist an sich zumeist kein Hinweis für eine Hypoxie. Eine anhaltende Blässe trotz Beatmung kann auf eine signifikante Azidose oder seltener auf eine Hypovolämie mit deutlicher peripherer Vasokonstriktion hinweisen. Eine rosige obere Körperhälfte bei zyanotischer unterer Körperhälfte kann ein Zeichen für einen Rechts-links-Shunt über einen offenen Ductus sein.

Anhand des Hautkolorits lässt sich die periphere Sättigung eines Neugeborenen grundsätzlich nur sehr unzuverlässig einschätzen. Die Beurteilung der Oxygenierung soll daher idealerweise unter Zuhilfenahme einer Pulsoxymetrie erfolgen. Insgesamt gibt es nur wenige Studien zur klinischen Beurteilung des Hautkolorits bei Neugeborenen. In einer Beobachtungsstudie, an der 27 Ärzte teilnahmen, die anhand von Videos von Frühgeborenen mit bekannten Sättigungswerten die periphere Sättigung visuell einschätzen sollten, zeigten sich kaum Übereinstim-

mungen, mit Fehleinschätzungen im Sinne einer Unter- als auch Überschätzung der peripheren Sättigung [124].

Atmung

Fehlendes kräftiges Schreien nach der Geburt kann auf eine Apnoe zurückzuführen sein. Darüber hinaus kann es aber auch ein Hinweis für eine insuffiziente Atmung sein und die Notwendigkeit von unterstützenden Maßnahmen anzeigen. In einer Beobachtungsstudie mit 19.977 Neugeborenen kurz nach der Geburt in 4 ländlichen Krankenhäusern in Nepal waren von 11 % der Neugeborenen, die postnatal kein kräftiges Schreien zeigten, etwa die Hälfte apnoisch. Ungefähr 10 % der Neugeborenen, die nicht schrien, aber zunächst als spontan atmend beurteilt wurden, zeigten im weiteren Verlauf eine Apnoe. Das Fehlen eines kräftigen Schreiens nach der Geburt, bei allerdings vorhandener Atmung, war mit einer 12-fach erhöhten Morbidität in diesem Setting verbunden [125].

Bei Frühgeborenen kann eine suffiziente Atmung häufig schwer zu beurteilen sein, da die Atemanstrengungen sehr diskret sein können und daher oft übersehen werden [123, 126]. Eine als unzureichend empfundene Atmung führt dann häufig zur Einleitung entsprechender Maßnahmen. So wurden in einer retrospektiven videobasierten Beobachtungsstudie mit 62 Frühgeborenen, die vor 28 Schwangerschaftswochen oder mit einem Geburtsgewicht von < 1000 g geboren wurden, 80 % der beurteilten Frühgeborenen nachträglich als atmend eingestuft. Alle diese Kinder erhielten eine Atemunterstützung mittels CPAP oder wurden intubiert [127].

Herzfrequenz

Die Bestimmung der Herzfrequenz unmittelbar nach der Geburt ist hilfreich, um den initialen klinischen Zustand des Neugeborenen einzuschätzen. Im weiteren Verlauf der Versorgung ist die Herzfrequenz der sensitivste klinische Parameter, um den Erfolg von durchgeführten Maßnahmen (z. B. von Beatmungen) zu beurteilen [128–130]. Aufgrund fehlender Studien ist es weiterhin nicht möglich, Grenzwerte der Herzfrequenz auf einer wissenschaftlichen Basis zu definie-

ren, die spezifische unterstützende Maßnahmen bzw. Reanimationsmaßnahmen nach sich ziehen sollen. Die Grenzen von 100/min bzw. 60/min sind im Wesentlichen pragmatischer Natur [131].

Bei Reifgeborenen mit suffizienter Atmung, die verzögert abgenabelt werden, liegt die Herzfrequenz normalerweise über 100/min [130]. In einer Beobachtungsstudie mit 1237 reifen bzw. nahezu reifen Neugeborenen, die in einer ländlichen Umgebung wiederbelebt wurden, waren die initial gemessenen Herzfrequenzen bei der Geburt zweigipflig um 60 und 165/min verteilt. Eine Beatmung erhöhte die Herzfrequenz bei den meisten der bradykarden Neugeborenen letztlich auf einen Median von 161/min. Initiale und auch im weiteren Verlauf niedrige Herzfrequenzen waren mit einem schlechteren Outcome assoziiert [132]. Bei Frühgeborenen vor 30+0 Schwangerschaftswochen stabilisierte sich die Herzfrequenz erst, wenn sie ungefähr 120/min erreicht hatte, in einigen Fällen sogar erst bei einer Herzfrequenz von >150/min [133].

Die Auskultation mit dem Stethoskop ist eine kostengünstige und simple Methode und ermöglicht eine einigermaßen genaue und schnelle Beurteilung der Herzfrequenz. In Kreißsaalstudien bei Neugeborenen mit geringem Risiko war die Bestimmung der Herzfrequenz innerhalb von 14 (10–18) Sekunden möglich (Median [IQR]). Allerdings wurden die auskultatorischen Herzfrequenzwerte im Vergleich zum EKG bzw. zur Pulsoxymetrie zwischen $-9 (\pm 7)$ /min bzw. $-14 (\pm 21)$ /min unterschätzt (mittlere Differenz [95 %-CI]) [134, 135].

Die Palpation eines Pulses an der Basis der Nabelschnur kann schnell gelingen (schwieriger an der A. brachialis oder A. femoralis). Wird ein schneller Puls >100/min getastet, kann dieser auch als zuverlässig angesehen werden. Allerdings ist das Tasten des Pulses (*insbesondere in einer Notfallsituation, Anmerkung der Übersetzer*) häufig ungenau und die Herzfrequenz wird mitunter erheblich unterschätzt. Dies kann dann in weiterer Folge zur Einleitung unnötiger Maßnahmen führen [135, 136].

Eine kontinuierliche Überwachung der Herzfrequenz liefert darüber hi-

naus eine dynamischere Anzeige der Herzfrequenz und ist daher, insbesondere während der Durchführung von Reanimationsmaßnahmen, einer intermittierenden Messung (z. B. durch Pulstasten oder Auskultation) vorzuziehen. Eine Pulsoxymetrie (idealerweise an der rechten Hand) kann eine genaue Herzfrequenz sowie Informationen zur peripheren Sättigung liefern. Insbesondere initial können die angezeigten Werte allerdings unter den durch ein EKG gemessenen Werten liegen und damit die Herzfrequenz unterschätzen: In einer Studie mit 53 Neugeborenen lagen die über das Pulsoxymeter angezeigten Herzfrequenzwerte in den ersten 2 min signifikant niedriger als die über das EKG angezeigten Werte (81 [60–109]/min gegenüber 148 [83–170]/min nach 90 s [$p < 0,001$]) [137]. Bei längerer Abnahmezeit näherten sich die über Pulsoxymetrie gemessenen Herzfrequenzwerte an die des EKG und Unterschiede lagen nur noch bei $-2 (26)$ /min (Mittelwert [SD]) [138]. Insgesamt kann es darüber hinaus länger dauern, bis über die Pulsoxymetrie verlässliche Werte angezeigt werden, als über eine Auskultation [139]. Ob es tatsächlich einen Vorteil bedeutet, zunächst das Kind [140] oder erst den Pulsoxymetriesensor [141] mit dem Gerät zu verbinden ist unklar. Zumeist kann ein verwertbares Signal innerhalb der ersten 15 s nach dem Anschließen der Pulsoxymetrie erzielt werden. Periphere Minderperfusion, Signalausfall, Bewegungen, Arrhythmien und Umgebungsbeleuchtung können die Signalqualität der Pulsoxymetrie beeinträchtigen. Bei schlechter Signalqualität können falschniedrige Werte über eine Pulsoxymetrie angezeigt werden [142–144].

Es hat sich damit gezeigt, dass das EKG eine praktikable und schnelle Möglichkeit für eine exakte Bestimmung der Herzfrequenz ist. Insbesondere in den ersten zwei Minuten nach der Geburt kann es Werte einige Sekunden schneller und zuverlässiger als die Pulsoxymetrie anzeigen [143, 144]. In zwei RCT zeigte sich eine schnellere Anzeige der Herzfrequenz mittels EKG verglichen mit der Pulsoxymetrie mit einem Mittelwert (SD) von 66 (20) gegenüber 114 (39) Sekunden und einem Median (IQR) von 24

(19–39) gegenüber 48 (36–69) Sekunden, beide $p = 0,001$ [134, 145].

Eine kürzlich durchgeführte Aktualisierung der ILCOR-Evidenzanalyse kam zu dem Schluss, dass die seit 2015 identifizierten sieben neuen Studien (2 systematische Reviews, 2 RCT und 3 Beobachtungsstudien) die vorherigen Empfehlungen für Neugeborene, die eine Reanimation benötigen, stützten [1]. Das EKG kann verwendet werden, um eine schnelle und genaue Schätzung der Herzfrequenz zu ermöglichen (schwache Empfehlung, schwacher Evidenzgrad) [51, 146].

Die Verwendung eines EKG hat natürlich auch Limitationen. Es kann selbstverständlich die Pulsoxymetrie nicht ersetzen, da über die Pulsoxymetrie zusätzliche Informationen über die Perfusion und Oxygenierung gewonnen werden können. Bei einer pulslosen elektrischen Aktivität (PEA) zum Beispiel [147] kann ein EKG eine vermeintlich ausreichende Herzfrequenz anzeigen, obwohl kein ausreichender kardialer Auswurf besteht. Neuere Technologien wie „trockene“ Elektroden können die Signalqualität verbessern. Methoden wie Plethysmographie und Doppler können möglicherweise eine schnelle, zuverlässige, auswurfbasierte Bestimmung der Herzfrequenz ermöglichen, eine klinische Validierung ist jedoch noch erforderlich, bevor sie empfohlen werden können [143, 144].

Atemwege

Atemwege

Durch eine zu starke Flexion (Beugung) und Extension (Überstreckung) kann der Atemweg des Neugeborenen verlegt werden [148]. Allerdings ist die tatsächliche Evidenz zu den Mechanismen der Atemwegsobstruktion beim Neugeborenen noch begrenzt. Eine retrospektive Analyse von MRT-Bildern der Atemwege von 53 sedierten Säuglingen zwischen 0 und 4 Monaten, bei denen eine kraniale MRT-Untersuchung durchgeführt werden musste, zeigte, dass z. B. bei einer Überstreckung des Kopfs eine Obstruktion der oberen Atemwege auf Höhe der Zunge durch die Verschiebung der posterioren Atemwegsteile in Richtung an-

terior hervorgerufen werden kann [149]. Daher wird die Lagerung des Kopfs in Neutralposition bevorzugt, um eine optimale Durchgängigkeit der Atemwege zu gewährleisten.

Esmarch-Handgriff

Es gibt keine Studien zum Esmarch-Handgriff beim Neugeborenen. Studien an Kindern zeigen, dass ein Vorziehen des Unterkiefers den Pharyngealraum vergrößert, indem die Epiglottis von der posterioren Pharyngealwand abgehoben wird. Dadurch verringert sich die Einengung im Larynxbereich [150]. Manuelle Beatmungstechniken für zwei Helfer (2-Hände-Esmarch-Handgriff) sind denen einzelner Helfer überlegen [148].

Oropharyngeale/nasopharyngeale Atemwegshilfen

Bei Kindern konnte in Studien nachgewiesen werden, dass ein Guedel-Tubus (oropharyngeale Atemwegshilfe) erfolgreich zum Offenhalten der Atemwege eingesetzt werden kann [151]. Für Neugeborene nach der Geburt existieren solche Studien bisher nicht. In einer randomisierten Studie mit 137 Frühgeborenen, in der der Gasfluss über eine Beatmungsmaske unter Beatmung gemessen wurde, beeinträchtigte ein Guedel-Tubus die Beatmung häufiger, als wenn kein Guedel-Tubus verwendet wurde (81 % vs. 64 %; $p = 0,03$; teilweise 70 % vs. 54 %; $p = 0,04$) [152]. Nichtsdestotrotz kann ein Guedel-Tubus, da durch ihn die Zunge von den posterioren Atemwegen angehoben wird und der Atemweg so geöffnet wird, eine Beatmung erleichtern, wenn eine Beatmung erschwert ist und sich allein durch z. B. einen 2-Hände-Esmarch-Handgriff nicht verbessern lässt. Ein Wendl-Tubus (nasopharyngeale Atemwegshilfe) kann bei angeborenen Fehlbildungen zum Offenhalten der oberen Atemwege hilfreich sein [153]. Auch bei Frühgeborenen nach der Geburt konnte er erfolgreich angewendet werden [154].

Verlegung der Atemwege

Wenn sich ein Neugeborenes schwer beatmen lässt, ist die Ursache zunächst häufig unklar. Ursache kann z. B. eine falsche Kopfposition, eine Engstellung des Larynx oder auch, insbesondere bei

Frühgeborenen, ein zu fester Druck der Beatmungsmaske auf Mund und Nase des Kindes sein. So konnten Crawshaw et al. in einem Tiermodell des Frühgeborenen mittels Phasenkontrast-Röntgen zeigen, dass sich der Larynx und die Epiglottis bei nicht belüfteten Lungen und insuffizienten Atemmustern überwiegend geschlossen (adduziert) zeigten. Dies erschwerte eine intermittierende Überdruckbeatmung (IPPV) deutlich und der Larynx öffnete sich erst nach einer erfolgreichen Einatmung und Entfaltung der Lunge [155]. Unter Verwendung eines Atemfunktionsmonitorings konnte in einer Beobachtungsstudie mit 56 Frühgeborenen vor 32 Schwangerschaftswochen eine signifikante Leckage unter Maskenbeatmung (> 75 %) und/oder eine Obstruktion unter Beatmung (75 %) bei 73 % der manuell beatmeten Frühgeborenen während der ersten 2 min beobachtet werden [156].

Normale Lungenflüssigkeit und Sekrete sind für gewöhnlich hingegen keine Ursachen für eine Obstruktion der oberen Atemwege. Neugeborene müssen daher nach der Geburt nicht routinemäßig aus dem Oropharynx abgesaugt werden.

Oropharyngeales und nasopharyngeales Absaugen

Ein oropharyngeales oder nasopharyngeales Absaugen bei Neugeborenen führt nicht unbedingt zu einer Verbesserung der Atemfunktion, im Gegenteil, mitunter verzögert es dringend notwendige Maßnahmen oder führt sogar mitunter zu einem verzögerten Einsetzen der Spontanatmung. Nebenwirkungen, v. a. eines ausgedehnten Absaugens, können Reizungen der Schleimhäute, Laryngospasmus, Apnoe, vagale Bradykardie, Hypoxämie, Entsättigung und ein beeinträchtigter zerebraler Blutfluss sein [157–161]. Ein kürzlich durchgeführtes ILCOR-Scoping von 10 Studien (8 RCT, 1 Beobachtungsstudie und 1 Fallstudie) mit mehr als 1500 nahezu bzw. reifen Neugeborenen zum Absaugen von klarer Flüssigkeit zeigte keine neuen Erkenntnisse, die eine Änderung der aktuellen Empfehlungen zum Absaugen erforderlich machen würden: Ein routinemäßiges postnatales oropharyngeales und nasopharyngeales Absaugen bei Neugebore-

nen mit klarem oder mekoniumgefärbtem Fruchtwasser wird nicht empfohlen (sehr schwacher Evidenzgrad – herabgestuft wegen Bias-Risiko, Studiendesign und Ungenauigkeit) [1]. Wenn ein Absaugen notwendig erscheint, soll dies unter direkter Sicht erfolgen, idealerweise mit einem Laryngoskop und einem großlumigen Katheter.

Es gibt nur wenige Studien, die die Effektivität unterschiedlicher Methoden und Werkzeuge zum Absaugen von Neugeborenen untersucht haben. In einer In-vitro-Studie mit simuliertem Mekonium zeigte sich die Überlegenheit des Yankauer-Katheters beim Entfernen von soliden Partikeln im Vergleich zu flexiblen Kathetern mit größerem Lumen (12–14 F) und manuellen, ballförmigen Handabsaugern („bulb suction device“). Die meisten Geräte konnten zwar Flüssigkeiten entfernen, die einzigen Geräte, mit denen sich simuliertes partikelhaltiges Mekonium absaugen ließ, waren der Yankauer-Katheter und ein ballförmiger Handabsauger. Grundsätzlich sind Handabsauger weniger effektiv, haben aber den Vorteil, dass sie keine externe Vakuumquelle benötigen. Herkömmliche Absaugkatheter mit kleinem Lumen zeigten sich deutlich weniger effektiv [162]. Der Yankauer-Katheter bietet den Vorteil, dass er einhändig verwendet werden kann (*Dies richtet sich selbstverständlich nach dem verwendeten Absaugsystem, Anmerkung der Übersetzer*) und ein effektives Absaugen bereits mit geringem Vakuum möglich ist und somit möglicherweise weniger Schleimhautschädigungen verursacht. Ein Mekoniumaspirator, der an einen Trachealtubus konnektiert werden kann, funktioniert auf ähnliche Weise und kann ebenfalls verwendet werden, um partikelhaltiges Material aus der Luftröhre zu entfernen. Ein Sog von 150 mm Hg (20 kPa) ist zum Absaugen in den meisten Fällen ausreichend und soll nicht überschritten werden [163].

Mekonium

Leicht mekoniumgefärbtes Fruchtwasser ist häufig und führt im Allgemeinen zu keinen größeren Problemen während der Anpassungsphase. Zähes mekoniumhaltiges Fruchtwasser ist deutlich

seltener, immer aber ein Indikator für perinatalen Stress und ein Alarmsignal, da möglicherweise Reanimationsmaßnahmen notwendig sind.

Vitale Neugeborene mit mekoniumhaltigem Fruchtwasser profitieren weder von einem intrapartalen Absaugen noch einer routinemäßigen postnatalen Intubation und einem trachealen Absaugen [164, 165]. Eine Abnahme der Intubationen im Kreißsaal bei Neugeborenen mit Mekonium hat in retrospektiven registerbasierten Studien keine Erhöhung der Morbidität gezeigt [166, 167]. Ein systematischer ILCOR-Review von drei RCT mit 449 Neugeborenen und einer Beobachtungsstudie mit 231 Neugeborenen konnte keine Vorteile einer sofortigen Laryngoskopie mit oder ohne tracheales Absaugen im Vergleich zur sofortigen Durchführung von Reanimationsmaßnahmen ohne Laryngoskopie belegen (RR 0,99; 95 %-CI 0,93–1,06; $p=0,87$) [1]. Parallele Metaanalysen einschließlich einer weiteren RCT mit 132 Neugeborenen kamen zu ähnlichen Ergebnissen [168–170]. Eine Untersuchung der Folgen der Änderungen der Empfehlungen zur Versorgung von hypotonen Neugeborenen mit mekoniumhaltigem Fruchtwasser ergab bei 1138 dieser Neugeborenen, bei denen ein Absaugen zugunsten einer sofortigen Beatmung unterlassen wurde, weniger Aufnahmen auf der NICU und keinen Anstieg der Inzidenz eines Mekoniumaspirationssyndroms [171].

Ein routinemäßiges Absaugen hypotoner Neugeborener bedeutet damit für die meisten dieser Neugeborenen wahrscheinlich keinen Vorteil und kann letztlich vor allem den Beginn effektiver Beatmungen verzögern. Nur eine sehr kleine Gruppe von hypotonen Neugeborenen benötigt möglicherweise ein Absaugen von Mekonium unter direkter Laryngoskopie (mit oder ohne Intubation), um eine Atemwegsobstruktion durch Mekonium zu beseitigen und eine anschließende Beatmung zu ermöglichen. Daher empfehlen die ILCOR-Leitlinien, bei apnoischen oder insuffizient atmenden Neugeborenen mit mekoniumhaltigem Fruchtwasser auf eine routinemäßige sofortige direkte Laryngoskopie und/oder Absaugen nach der Geburt zu verzichten, um

so schnell wie möglich mit Beatmungen beginnen zu können (schwache Empfehlung, schwacher Evidenzgrad) [1].

Bei Neugeborenen mit respiratorischer Beeinträchtigung aufgrund einer Mekoniumaspiration wird darüber hinaus eine routinemäßige Surfactant-Gabe oder bronchiale Lavage mit Kochsalz oder Surfactant im Kreißsaal nicht empfohlen [172, 173].

Initiale Beatmungshübe und assistierte Beatmung

Wenn ein Neugeborenes nach der Geburt insuffizient oder nicht atmet, hat die Belüftung der Lunge oberste Priorität und darf nicht verzögert werden. Eine Beobachtungsstudie in ressourcenarmen Regionen zeigte, dass es durchschnittlich etwa 80 ± 55 s nach der Geburt dauerte, bis mit einer notwendigen Beatmung begonnen wurde. Jede weitere 30-sekündige Verzögerung der Beatmung führte bei apnoischen Neugeborenen zu einem Anstieg der Morbidität/Mortalität um jeweils 16 % ($p=0,045$) [12]. Bei reifen Neugeborenen soll die assistierte Beatmung mit Raumluft begonnen werden [174].

Spitzendruck und Inspirationsdauer

Bei Neugeborenen können die Spontanatmung oder assistierte initiale Beatmungshübe zur Etablierung einer funktionellen Residualkapazität (FRC) führen [11, 175]. Ist eine assistierte Beatmung notwendig, sind optimaler Inspirationsdruck, Inspirationszeit und Tidalvolumen zur Herstellung einer effektiven FRC weiterhin unklar und zudem abhängig von physiologisch-anatomischen Faktoren und technischen Gegebenheiten. Weiterhin besteht eine intensive Diskussion, ob längere Inspirationszeiten insbesondere für das initiale Öffnen der Lunge einen Vorteil bedeuten könnten. Darüber hinaus stehen auch weiterhin deutlich verlängerte Inspirationszeiten unter Beatmung („sustained inflations“) für die Versorgung von Neugeborenen in Diskussion (s. unten) [1]. Die aktuellen NLS-Leitlinien des ERC empfehlen weiterhin verlängerte Inspirationszeiten für die initialen Beatmungen, auch wenn

es bisher keine Evidenz weder für Vor- noch für Nachteile gegenüber anderen empfohlenen Ansätzen gibt. Sobald die Atemwege geöffnet sind, sollen daher zunächst fünf initiale Beatmungshübe mit einer verlängerten Inspirationszeit über 2–3 s durchgeführt werden, um die Entfaltung der Lunge und die Etablierung einer FRC zu unterstützen [51, 175–177].

Der optimale initial notwendige Inspirationsdruck, um die Lunge zu entfalten, ist unbekannt. Inspirationsdrücke von 30 cm H₂O reichen bei apnoischen reifen Neugeborenen normalerweise aus, um die häufig noch mit Flüssigkeit gefüllte Lunge effektiv zu öffnen. Allerdings wurde die Empfehlung für diesen Spitzendruck für die initialen Beatmungen lediglich aus historischen Studien mit einer begrenzten Anzahl von Neugeborenen abgeleitet [175, 178, 179]. Eine neuere prospektive Studie mit 1237 reifen und nahezu reifen Neugeborenen, die in einer ländlichen Umgebung unter Verwendung einer Beutel-Maske-Beatmung ohne PEEP beatmet wurden, legt nahe, dass teilweise noch höhere initiale Beatmungsdrücke erforderlich sein können. Für eine erfolgreiche Stabilisierung waren hier mediane Spitzendrücke von 37 cm H₂O erforderlich [180]. Bei Frühgeborenen deutet eine kritische Überprüfung der verfügbaren Daten darauf hin, dass die bisher empfohlenen initialen Inspirationsdrücke von 20 cm H₂O möglicherweise ebenfalls häufig zu niedrig sind, um eine effektive Öffnung der Lunge zu erreichen [177, 181–183]. Für die Beatmung von Frühgeborenen ist daher wahrscheinlich ebenfalls ein höherer initialer Inspirationsdruck von 25 cm H₂O sinnvoll. Da der Atemwegswiderstand bei noch geringerem Durchmesser der Atemwege deutlich ansteigt, benötigen einige Frühgeborene insbesondere für die initialen Beatmungen und die Entfaltung der Lunge möglicherweise einen noch höheren Druck als 25 cm H₂O.

Studien weisen darauf hin, dass die Zeit bis zum Einsetzen der Spontanatmung umgekehrt mit dem Spitzendruck und der Dauer der Inspirationszeiten korreliert [176]. Wenn das Neugeborene nicht komplett apnoisch ist, sondern

Atemanstrengungen zeigt, ist eine synchronisierte Beatmung wahrscheinlich am effektivsten [183]. Das Tidalvolumen von assistierten Überdruckbeatmungen kann dann jedoch das von spontanen Atemzügen überschreiten [126, 184]. Insgesamt ist das Durchführen von synchronisierten Beatmungen beim Neugeborenen während der Erstversorgung allerdings schwierig durchzuführen [185].

Eine kürzlich durchgeführte Beobachtungsstudie mit Frühgeborenen vor 32 Schwangerschaftswochen zeigte, dass in dieser Patientengruppe allein das Aufdrücken einer Maske zur Unterstützung der Atmung bei spontan atmenden Frühgeborenen zu einer Apnoe führen konnte [186]. Die Bedeutung dieses Effekts auf das Outcome ist derzeit jedoch noch unklar [187].

Beatmung

Auch bezüglich der optimalen Beatmungsfrequenz während der Reanimation von Neugeborenen besteht nur eine geringe Evidenz. In einer Beobachtungsstudie mit 434 maskenbeatmeten späten Frühgeborenen und Reifgeborenen konnten mit einer Beatmungsfrequenz von 30/min adäquate Tidalvolumina ohne das Auftreten einer Hypokapnie erreicht werden. Eine Beatmungsfrequenz von 30/min mit Tidalvolumina von 10–14 ml/kgKG war dabei mit der höchsten CO₂-Clearance assoziiert [188]. In einer Beobachtungsstudie mit 215 reifen und nahezu reifen Neugeborenen zeigte sich ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen den verabreichten Tidalvolumina und der Herzfrequenz. Das zur Erhöhung der Herzfrequenz erforderliche minimale Tidalvolumen lag hier bei 6,0 ml/kgKG (3,6–8,0). Bei einem verabreichten Atemzugvolumen von 9,3 ml/kgKG stieg die Herzfrequenz am schnellsten und auf die höchsten Werte [129].

Das zur Etablierung einer funktionellen Residualkapazität erforderliche Tidalvolumen kann das ausgeatmete Volumen überschreiten, nach Foglia et al. sind mehr als 12 ml/kgKG für Reifgeborene möglich [185]. Das ausgeatmete Tidalvolumen steigt während der ersten Beatmungshübe im Rahmen der Lun-

genentfaltung an, die Compliance nimmt zu und die FRC wird etabliert [180]. In den meisten Fällen sollte es möglich sein, den Spitzendruck im Verlauf zu reduzieren, sobald die Lungen vollständig entfaltet sind. Ein überhöhtes Tidalvolumen soll dann nach Möglichkeit vermieden werden [185].

Es gibt keine publizierten Studien, die auf eine optimale Inspirationszeit während einer assistierten Überdruckbeatmung im Verlauf hinweisen. Längere Inspirationszeiten ermöglichen eventuell niedrigere Spitzendrücke [185]. Beobachtungsstudien an spontan atmenden Neugeborenen haben gezeigt, dass diese nach der erfolgreichen Entfaltung der Lungen etwa mit einer Frequenz von 30 bis 40 Atemzügen/min und unabhängig vom Atemmuster mit einer Inspirationszeit von 0,3 bis 0,4 s spontan atmen [189].

Beurteilung einer effektiven Beatmung

Der sofortige Anstieg der Herzfrequenz ist im Allgemeinen das beste klinische Zeichen einer erfolgreichen Öffnung der Lunge und einer effektiven Beatmung [128, 129]. Bei den meisten Neugeborenen kommt es unter Beatmung innerhalb von 30 s nach der Lungenentfaltung zu einem raschen Anstieg der Herzfrequenz [190]. Dabei zeigen Thoraxbewegungen zumeist ausreichende Tidalvolumina an. Bei Frühgeborenen können die Thoraxbewegungen allerdings deutlich diskreter und damit weniger offensichtlich sein [191]. Übermäßige Thoraxkursionen während der Überdruckbeatmung können ein Hinweis auf ein zu großes Tidalvolumen sein, welches vermieden werden soll. Wenn die Herzfrequenz steigt, jedoch keine Spontanatmung einsetzt, muss weiter beatmet werden.

Ein Ausbleiben des Herzfrequenzanstiegs ist höchstwahrscheinlich auf eine unzureichende Öffnung der Atemwege oder ineffektive Beatmung zurückzuführen. Die Ursachen können in einer suboptimalen Maskenposition oder einer Leckage liegen [184, 192, 193], möglicherweise muss die Kopfposition korrigiert werden [148]. Um ein suffizientes Inspirations-/Tidalvolumen zu errei-

chen, muss möglicherweise auch der Inspirationsdruck erhöht werden [180]. Bei Frühgeborenen kann bereits ein übermäßiger Druck mit der Maske auf das Gesicht eine effektive Beatmung behindern. Auch eine Engstellung des Larynx kann bei diesen möglicherweise die Ursache für eine insuffiziente Beatmung sein [10, 155, 156, 194].

Die Durchführung eines Zwei-Hande-Esmarch-Handgriffs kann die Maskenleckage bei der Beatmung von Reif- und Frühgeborenen reduzieren und ist dem Halten der Maske mit nur einer Hand überlegen. (*Für die Beatmung selbst wird dann eine zweite Person benötigt, Anmerkung der Übersetzer*) [193, 195]. Die Verwendung von weiteren Atemwegshilfen zum Optimieren einer assistierten Beatmung ist an anderer Stelle beschrieben (siehe „PEEP und CPAP/Beatmungsgeräte zur assistierten Beatmung/Atemwegshilfen“).

Ob Flüssigkeiten oder andere Fremdkörper in den Atemwegen tatsächlich eine klinisch relevante Atemwegsobstruktion nach der Geburt verursachen können, ist nicht bekannt. Allerdings ist dies natürlich für Mekonium, Blut, Schleim, Käseschmiere nicht grundsätzlich ausgeschlossen [196].

Deutlich verlängerte Inspirationszeiten > 5 s („sustained inflations“, SI)

Einige tierexperimentelle Studien konnten einen positiven Effekt von deutlich verlängerten Inspirationszeiten auf die Etablierung der funktionellen Residualkapazität zeigen [197, 198]. Ein systematischer Cochrane-Review, der initiale Inspirationszeiten > 1 s gegenüber Standardinspirationszeiten ≤ 1 s vergleicht, wurde 2020 aktualisiert. 8 RCT mit insgesamt 941 Neugeborenen erfüllten die Einschlusskriterien für den primären Vergleich der Verwendung von deutlich verlängerten Inspirationszeiten ohne Thoraxkompressionen (SI > 5 Sekunden). Die verlängerten Inspirationen dauerten 15 bis 20 s bei 20 bis 30 cm H₂O. In keiner der Studien wurden verlängerte Inspirationen von ≤ 5 s verwendet. Die Beatmungen mit deutlich verlängerten Inspirationszeiten zeigten im Vergleich zu Beatmungen mit normaler Inspira-

onszeit dabei weder eine Verbesserung der Mortalität während der Kreißsaalversorgung (schwacher Evidenzgrad – Einschränkungen im Studiendesign und Ungenauigkeit) noch während des gesamten Krankenhausaufenthalts (mäßiger Evidenzgrad – Einschränkungen im Studiendesign). Auch für die sekundären Endpunkte Intubation, Bedarf an Atemunterstützung oder bronchopulmonale Dysplasie boten Beatmungen mit deutlich verlängerten Inspirationszeiten keine Vorteile (mäßiger Evidenzgrad) [199].

Eine große multizentrische RCT, die nicht in diese Analyse einbezogen wurde, analysierte die Auswirkungen von SI gegenüber IPPV („intermittent positive pressure ventilation“) bei extremen Frühgeborenen (23–26 Schwangerschaftswochen) und kam zu dem Schluss, dass eine Versorgungsstrategie mit zwei verlängerten Inspirationen von 15 s das Risiko für bronchopulmonale Dysplasie oder Tod im Alter von 36 Wochen nicht reduzierte. Die Studie umfasste 460 von ursprünglich 600 geplanten Frühgeborenen, wurde jedoch aufgrund einer übermäßigen frühen Sterblichkeit in der SI-Gruppe, welche möglicherweise auf Reanimationsmaßnahmen zurückzuführen war, vorzeitig abgebrochen. In der SI-Gruppe waren innerhalb der ersten 48 Lebensstunden 16 Frühgeborene (7,4%) verstorben, im Gegensatz zu 3 Frühgeborenen (1,4%) in der Standardversorgungsgruppe (bereinigte Risikodifferenz [aRD] 5,6% [95%-CI 2,1 bis 9,1%]; $p=0,002$). Dies konnte jedoch nicht direkt den verlängerten Inspirationszeiten zugeschrieben werden [200].

Eine kürzlich durchgeführter systematischer ILCOR-Review in Bezug auf Beatmungen mit verlängerter Inspirationszeit identifizierte 10 infrage kommende RCT, einschließlich der oben genannten, mit 1509 Neugeborenen [1]. Für den primären Outcomeparameter Tod vor Entlassung konnte kein signifikanter Vorteil oder Schaden durch die Verwendung von verlängerten Inspirationen >1 s (tatsächlich >5 s) im Vergleich zur Überdruckbeatmung mit Inspirationen von ≤ 1 s festgestellt werden (sehr schwacher Evidenzgrad –

herabgestuft wegen Bias-Risiko und Inkonsistenz). Es wurden keine Studien identifiziert, die über die sekundären kritischen Endpunkte eines langfristigen neurologischen Outcomes oder Todes in weiterer Folge berichteten. Eine Subgruppenanalyse verschiedener verlängerter Inspirationszeiten (6–15 s 9 RCT, 1300 Neugeborene, >15 s 2 RCT, 222 Neugeborene) und verschiedener Inspirationsdrücke (>20 mm H₂O 6 RCT, 803 Neugeborene, ≤ 20 mm H₂O 699 Neugeborene) zeigte keinen signifikanten Nutzen oder Schaden durch verlängerte Inspirationen im Vergleich zu IPPV von ≤ 1 s (herabgestuft wegen Bias-Risiko, Ungenauigkeit und Inkonsistenz).

In Subgruppenanalysen, in denen verlängerte Inspirationen >1 s mit Inspirationen von ≤ 1 s bei Frühgeborenen vor 28 + 0 Schwangerschaftswochen verglichen wurden, gab es bei 5 RCT, in die 862 Neugeborene eingeschlossen waren, eine schwache Evidenz für einen potenziellen Schaden (RR 1,38; 95%-CI 1,00–1,91) (herabgestuft wegen Bias-Risiko und Ungenauigkeit). Bei Neugeborenen von 28 + 1 bis 31 + 6 Schwangerschaftswochen zeigten 4 RCT mit 175 Frühgeborenen eine sehr geringe Evidenz für keinen signifikanten Nutzen oder Schaden (RR 1,33; 95%-CI 0,22–8,20) (herabgestuft wegen Bias-Risiko und schwerwiegender Ungenauigkeiten). Keine der Studien untersuchte verlängerte Inspirationszeiten <5 s und auch für reifere Neugeborene lagen keine publizierten Daten vor.

Weitere Subgruppenanalysen ausschließlich der Studien mit einem hohen Risiko des Bias (9 RCT, 1390 Neugeborene, RR 1,24; 95%-CI 0,92–1,68), Studien mit nur einer einzelnen verlängerten Inspiration (9 RCT, 1402 Neugeborene, RR 1,17; 95%-CI 0,88–1,55) und solche mit SI nur über eine Beatmungsmaske (9 RCT, 1441 Neugeborene, RR 1,06; 95%-CI 0,61–1,39) konnten keinen Unterschied im Outcome bei deutlich verlängerten Inspirationen gegenüber normalen Inspirationszeiten nachweisen (schwacher Evidenzgrad, herabgestuft wegen Bias-Risiko und Ungenauigkeit).

Die aktuellen ILCOR-Behandlungsempfehlungen legen daher nahe, dass die routinemäßige Anwendung von ver-

längerten Inspirationszeiten ≥ 5 s nicht für Frühgeborene empfohlen werden kann, die aufgrund einer insuffizienten Atmung oder einer Bradykardie eine assistierte Beatmung benötigen (schwache Empfehlung, schwacher Evidenzgrad). Verlängerte Inspirationen können jedoch weiterhin im Rahmen von Studien in Erwägung gezogen werden. Die aktuelle Studienlage erlaubt derzeit keine spezifischen Empfehlungen zur Dauer der Inspirationszeit bei späten Frühgeborenen oder Reifgeborenen. Für eine solche Empfehlung war die Gesamtzahl der untersuchten Neugeborenen nicht ausreichend, um einen Effekt von verlängerten Inspirationen sicher einschätzen zu können. Es sind größere Studien erforderlich, um festzustellen, ob verlängerte Inspirationen letztlich mehr Nutzen oder Schaden bedeuten [1].

Es gibt ebenfalls keine randomisierten Studien, die die Verwendung von initialen Beatmungshüben von ≤ 1 s und von 2 bis 3 s vergleichen. Eine kürzlich durchgeführte RCT mit 60 Frühgeborenen vor 34 Schwangerschaftswochen, bei welchen die initialen Beatmungen mit einer verlängerten Inspirationszeit von 2 bis 3 s oder mit einer einzelnen verlängerten Inspirationszeit von 15 s durchgeführt wurden, zeigte keine Unterschiede im Minutenvolumen oder im endtidalen CO₂ [201]. Neugeborene, die verlängerte Inspirationen erhielten, zeigten früher eine Atemanstrengung (Median 3,5 [Range 0,2–59] gegenüber Median 12,8 [Range 0,4–119] Sekunden, $p=0,001$). Verlängerte Inspirationen waren darüber hinaus mit einer kürzeren Beatmungsdauer in den ersten 48 Lebensstunden verbunden (Median 17 [Range 0–48] gegenüber Median 32,5 [Range 0–48] Stunden, $p=0,025$).

PEEP und CPAP/Beatmungsgeräte zur assistierten Beatmung/ Atemweghilfen

PEEP (positiver endexpiratorischer Druck)

Tiermodellstudien haben gezeigt, dass große Atemzugvolumina nach der Geburt bereits zu einer Schädigung der

unreifen Lunge führen können [202, 203]. Dagegen kann die Aufrechterhaltung eines positiven endexpiratorischen Drucks (PEEP) unmittelbar nach der Geburt zu einer Verringerung von Lungenschäden beitragen [204, 205]. Wenngleich eine weitere Studie zu diesem Thema keinen Nutzen eines frühen PEEP diesbezüglich belegen konnte [206]. Unstrittig ist jedoch, dass die Verabreichung eines PEEP unmittelbar nach der Geburt die Lungenentfaltung, die funktionelle Residualkapazität, die Compliance, den Gasaustausch und insbesondere die Oxygenierung verbessert [207, 208]. Ein PEEP lässt sich sehr zuverlässig unter Zuhilfenahme von druckbegrenzten Beatmungshilfen mit einem kontinuierlichen Gasfluss, z. B. mit einem T-Stück-System applizieren.

Ein kürzlich durchgeführter ILCOR-Review zweier randomisierter Studien und einer quasirandomisierten Studie (sehr schwacher Evidenzgrad), welche die Beatmung über ein T-Stück-System mit der Beatmung mit einem sich selbst füllenden Beatmungsbeutel verglichen, ergab eine vergleichbare Mortalität sowie vergleichbare Inzidenzen bezüglich chronischer Lungenerkrankungen [1]. Fünf Minuten nach der Geburt zeigten 80 Frühgeborene vor 29 Schwangerschaftswochen keinen Unterschied der S_pO_2 -Werte (61% [13–72%] gegenüber 55% [42–67%]; $p=0,27$) [209]. Es wurde ebenfalls kein Unterschied beim Erreichen einer Herzfrequenz $>100/\text{min}$ bei 1027 Frühgeborenen nach 26 Schwangerschaftswochen festgestellt (1 [0,5–1,6] gegenüber 1 [0,5–1,8]; $p=0,068$; min [IQR]) [210]. Bei der Verwendung eines T-Stück-Systems zeigte sich jedoch eine Reduktion der Intubationsraten im Kreißsaal (86 [17%] gegenüber 134 [26%], OR 0,58 [95%-CI 0,4–0,8]; $p=0,002$). Der maximal verwendete Spitzendruck betrug 26 (2) cm H_2O mit T-Stück-Systemen gegenüber 28 (5) cm H_2O bei sich selbst füllenden Beuteln (SIB) ($P<0,001$; Mittelwert [SD]).

In einer quasirandomisierten Studie mit 90 Frühgeborenen in der 34. (3,7) (mean (SD)) Schwangerschaftswoche war die Dauer der Überdruckbeatmung im Kreißsaal mit T-Stück-Systemen

mit 30 Sekunden (30–60) gegenüber 60 Sekunden (30–90) (Median [IQR]; ($p<0,001$)) deutlich geringer [211]. In der Gruppe der Frühgeborenen, die mit sich selbst füllenden Beatmungsbeuteln beatmet wurden, musste ein höherer Anteil letztlich intubiert werden (34% vs. 15%; $p=0,04$). In einer großen multizentrischen Beobachtungsstudie mit 1962 Frühgeborenen zwischen 23 und 33 Schwangerschaftswochen verbesserte sich die Überlebenswahrscheinlichkeit und es wurden weniger bronchopulmonale Dysplasien (BPD) beobachtet, wenn die Frühgeborenen nach der Geburt eine Beatmung mit PEEP erhalten hatten (OR = 1,38; 95%-CI 1,06 bis 1,80) [212].

Alle Reif- und Frühgeborenen, die trotz adäquater erster unterstützender Maßnahmen apnoisch bleiben, müssen eine Überdruckbeatmung erhalten. Die ILCOR-Leitlinien empfehlen gegenüber 2015 unverändert, dass für die initialen Beatmungshübe bei Frühgeborenen während der Reanimation im Kreißsaal eine Beatmung mit einem positiven endexpiratorischen Druck (PEEP) erfolgen soll (schwache Empfehlungen, schwacher Evidenzgrad) [1]. Es wird empfohlen, die Überdruckbeatmung von Frühgeborenen zunächst mit einem PEEP von ca. 5–6 cm H_2O durchzuführen. Aufgrund fehlender Evidenz können zum jetzigen Zeitpunkt keine klaren Empfehlungen zum PEEP-Niveau für reife Neugeborene gegeben werden [51, 146].

CPAP (kontinuierlicher positiver Atemwegsdruck)

Ein systematischer Cochrane-Review, der die Verabreichung eines kontinuierlichen positiven Atemwegsdrucks (CPAP) bei Frühgeborenen vor 32 Schwangerschaftswochen innerhalb der ersten 15 Lebensminuten untersuchte, zeigte in 7 RCT mit 3123 Frühgeborenen, dass die Notwendigkeit einer weiteren Beatmungsunterstützung reduziert werden konnte. Allerdings war die Evidenz nicht ausreichend, um eine präventive CPAP-Therapie mit einer Sauerstofftherapie und anderen unterstützenden Maßnahmen zu vergleichen [213]. Die Studienergebnisse mussten aufgrund erheblicher Heterogenität, Ungenauig-

keit und mangelnder Verblindung auf einen schwachen Evidenzgrad herabgestuft werden. In drei dieser Studien mit insgesamt 2354 Frühgeborenen, die eine CPAP-Therapie mit assistierter Beatmung verglichen, reduzierte ein prophylaktischer nasaler CPAP bei sehr unreifen Frühgeborenen den Bedarf an mechanischer Beatmung und Surfactant-Gaben. Ebenso waren die Inzidenz von BPD und der kombinierte Outcomeparameter Tod oder BPD reduziert (Evidenz aufgrund von Ungenauigkeit herabgestuft).

Ein weiterer systematischer Review umfasste vier RCT, von denen drei ebenfalls in den Cochrane-Review einbezogen wurden [214]. Die gepoolte Analyse zeigte für Frühgeborene, die einen nasalen CPAP erhalten hatten, einen signifikanten Nutzen für das kombinierte Outcome von Tod oder BPD oder beiden Parametern unabhängig voneinander nach 36 Wochen (RR 0,91; 95%-CI 0,84 bis 0,99; RD 0,04; 95%-CI –0,07 bis 0,00; NNT 25).

Nach der Überprüfung der aktuellen Evidenz bleiben die ILCOR-Empfehlungen gegenüber 2015 damit unverändert. Für spontan atmende Frühgeborene mit Atemnotsyndrom, die postnatal eine Atemunterstützung benötigen, wird empfohlen, zunächst eine Atemunterstützung mittels CPAP anstelle einer primären Intubation und Überdruckbeatmung durchzuführen (schwache Empfehlung, mäßiger Evidenzgrad) [1, 51, 146]. Bezüglich der Atemunterstützung mittels CPAP bei reifen Neugeborenen nach der Geburt sind weiterhin nur sehr wenige Daten verfügbar [215, 216]. In jedem Fall ist bei einer CPAP-Therapie bei Reif- und nahezu Reifgeborenen im Kreißsaal besondere Sorgfalt geboten, da in retrospektiven Kohortenstudien eine CPAP-Therapie bei diesen Kindern möglicherweise mit einer erhöhten Inzidenz von Pneumothoraces verbunden war [217–219].

Hilfsmittel zur assistierten Beatmung

Eine effektive Beatmung beim Neugeborenen kann mit einem flow-abhängigen Beutel (Anästhesiebeutel), einem sich selbstfüllenden Beatmungsbeutel oder

einem T-Stück-System mit Druckbegrenzung durchgeführt werden [209, 210, 220–222]. Mit einem T-Stück-System kann im Gegensatz zu sich selbst füllenden Beatmungsbeuteln ein stabiler und kontinuierlicher PEEP unter Beatmung oder auch ein reiner CPAP verabreicht werden. Möglicherweise ist dies der entscheidende Faktor, der die Unterschiede in Bezug auf das Outcome zwischen den beiden Geräten erklärt (siehe Abschnitt „PEEP“).

Ein T-Stück-System bietet viele Vorteile, hat aber den Nachteil, dass zum Betrieb eine Flow-Quelle zwingend notwendig ist. Im Gegensatz dazu hat der sich selbst füllende Beatmungsbeutel den Vorteil, dass er (zumindest für eine Beatmung mit Raumluft, Anmerkung der Übersetzer) verwendet werden kann, auch ohne an eine Flow-Quelle angeschlossen zu sein. Zur Vermeidung hoher Beatmungsdrücke verfügen neonatologische und pädiatrische selbstfüllende Beatmungsbeutel über Überdruckventile. Diese sind allerdings strömungsabhängig und die unter Beatmung erzeugten Spitzendrücke können den vom Hersteller angegebenen Öffnungsdruck der Ventile von normalerweise 30–40 cm H₂O deutlich überschreiten, wenn der Beutel schnell und kräftig komprimiert wird [223, 224]. Im Vergleich zu sich selbst füllenden Beatmungsbeuteln ist mit Anästhesiebeuteln mehr Training erforderlich, um suffiziente Beatmungen mit einem adäquaten Spitzendruck und PEEP zu erreichen. In einer manikinbasierten Beobachtungsstudie mit 50 Ärzten bestanden deutliche technische Schwierigkeiten in der Verwendung des Anästhesiebeutels im Gegensatz zum sich selbst füllenden Beutel [225].

Ein qualitativer Review fand 30 Studien, in denen T-Stück-Systeme mit anderen manuellen Beatmungsgeräten für Neugeborene verglichen wurden. Die Mehrheit dieser Studien wurden allerdings mit Reanimationspuppen und nur 2 Studien mit echten Neugeborenen durchgeführt [156, 209]. Wird ein T-Stück-System verwendet, lassen sich im Vergleich zu selbstfüllenden Beuteln und Anästhesiebeuteln deutlich konstantere Spitzendrücke applizieren, die zudem dem angestrebten Zielspitzen-

druck am nächsten liegen [226–230]. Ähnliches konnte bezüglich des PEEP beobachtet werden. Der mittels T-Stück-Systemen verabreichte PEEP lag näher am angestrebten PEEP-Zielwert. Möglicherweise konnte durch die Verwendung des druckbegrenzten T-Stück-Systems, da die Tidalvolumina im Vergleich kleiner und weniger variabel waren als bei der Verwendung eines selbstfüllenden Beutels, die Gefahr eines Volutraumas reduziert werden [227–230]. T-Stück-Systeme lieferten darüber hinaus, unabhängig von der Erfahrung des Anwenders, konstantere Inspirationszeiten als selbstfüllende Beatmungsbeutel. Verlängerte Inspirationszeiten konnten bei Verwendung eines T-Stück-Systems ebenfalls zuverlässiger erreicht werden [231]. T-Stück-Systeme haben allerdings auch Limitationen. Die Beatmung unter Reanimation eines Neugeborenen ist insgesamt ein sehr dynamischer Prozess, bei dem die Beatmungsintensität an die sich möglicherweise verändernde klinische Situation des Neugeborenen angepasst werden muss. Dabei ist es bei der Verwendung eines T-Stück-Systems, im Gegensatz zur Verwendung selbstfüllender Beatmungsbeutel oder Anästhesiebeutel, schwerer, im Verlauf auftretende Compliance-Änderungen wahrzunehmen [232]. Ein zu fest zugeschraubtes PEEP-Ventil kann darüber hinaus irrtümlich und unbemerkt zur Verabreichung eines zu hohen PEEP führen [233]. Bei der Verwendung eines T-Stück-Systems dauert es mitunter länger als bei der Verwendung eines selbstfüllenden Beutels oder eines Anästhesiebeutels, den Inspirationsdruck unter Reanimation anzupassen. Darüber hinaus kann die Leckage über die Maske bei Verwendung eines T-Stück-Systems größer sein [229, 230] und Änderungen der Gasflussrate können bei den Flow-abhängigen T-Stück-Systemen erhebliche Auswirkungen auf den Spitzendruck, den PEEP [234–237] und die Leckage der Maske haben [234]. Die richtige Einstellung und Verwendung eines T-Stück-Systems erfordert zwar wahrscheinlich mehr Training, bei regelmäßiger Verwendung lässt sich damit allerdings selbst von unerfahrenen Anwendern eine gleichmäßigere Beatmung

als mit selbstfüllenden Beatmungsbeuteln erreichen [238].

Mit einem selbstfüllenden Beatmungsbeutel kann grundsätzlich kein CPAP verabreicht werden und selbst mit einem PEEP-Ventil ist die Verabreichung eines konstanten endexpiratorischen Drucks wahrscheinlich kaum möglich [226–228, 239–242]. Die Produkteigenschaften verschiedener T-Stück-Systeme und auch selbstfüllender Beatmungsbeutel variieren erheblich, mit Auswirkungen während ihrer Verwendung [243]. Ein neueres vertikales Design von sich selbstfüllenden Beatmungsbeuteln und eine überarbeitete Maske bieten möglicherweise Vorteile in der Handhabung und bei der Verwendung eines endexpiratorischen Drucks [190, 244–246].

Zusätzlich zu den 1107 Neugeborenen in den beiden in die Analyse von 2015 eingeschlossenen RCT [209, 210] identifizierte ein kürzlich durchgeführter ILCOR-Scoping-Review, der ebenfalls T-Stück-Systeme mit selbstfüllenden Beatmungsbeuteln verglich [1, 247], in einem weiteren RCT ($n=90$) [211] und einer großen Beobachtungsstudie ($n=1962$) eine erhebliche Anzahl zusätzlicher Patienten. Die Studien unterschieden sich hinsichtlich der untersuchten Populationen (zwei Studien untersuchten Reif- und Frühgeborene [210, 211], zwei Studien nur Frühgeborene) [209, 212]. Die Ergebnisse finden sich im Abschnitt „PEEP“ und deuten bei Verwendung eines T-Stück-Systems, insbesondere bei Frühgeborenen, auf ein verbessertes Überleben und einen geringeren Intubationsbedarf und eine BPD hin.

Auch wenn sich die Evidenz zwar weiter in Richtung der bevorzugten Verwendung von T-Stück-Systemen zu verschieben scheint, kam die ILCOR Task Force zu dem Schluss, dass die Empfehlungen zur Verwendung von T-Stück-Systemen von 2015 bis zur Durchführung eines weiteren systematischen Reviews vorerst unverändert bleiben [1]. Der wissenschaftliche Konsens ergab 2015, dass die Verwendung von T-Stück-Systemen geringfügige, aber statistisch nicht signifikante Vorteile in Bezug auf das Einsetzen einer Spontanatmung hat [51].

Beatmungsmasken im Vergleich zu nasopharyngealen Tuben

Eine Maskenbeatmung kann aufgrund eines potenziell großen und variablen Maskenlecks und eines damit verbundenen reduzierten applizierten Tidalvolumens immer wieder zu Problemen führen. Ursache für Leckagen sind zumeist eine nicht optimal ausgewählte Maskengröße sowie eine insuffiziente Beatmungstechnik. In Studien an Reanimationspuppen mit einem T-Stück-System und verschiedenen Maskentypen zeigten 50 freiwillige untersuchte Personen eine variable Maskenleckage von bis zu 80 % während der Beatmung. Eine Verbesserung der Leckage stellte sich nach einer schriftlichen Anleitung und der Demonstration alternativer Maskenhaltetechniken ein [192, 193]. Unter Verwendung eines Atemfunktionsmonitorings konnten Schmölder et al. bei 56 Frühgeborenen in 73 % der Fälle unterschiedliche Grade der Obstruktion ($\geq 75\%$) und/oder eine Leckage ($> 75\%$) während der ersten zwei Minuten unter Beatmung zeigen [156].

Eine Alternative zur Maskenbeatmung könnte die Beatmung über einen nasopharyngealen Tubus sein. In einer Beobachtungsstudie zeigte sich allerdings, dass bei der Verwendung eines mononasalen Nasopharyngealtubus eine Überdruckbeatmung insgesamt später begonnen wurde, eine größere Leckage zu beobachten war und häufiger Obstruktionen der Atemwege auftraten. Zudem waren die verabreichten Tidalvolumina häufiger unzureichend und die S_pO_2 -Werte waren insgesamt niedriger [248]. Zwei randomisierte Studien mit 507 Frühgeborenen vor 31 Schwangerschaftswochen ergaben bei Beatmung mit Maske oder unter Verwendung eines mononasalen nasopharyngealen Tubus allerdings keinen Unterschied bezüglich der Intubationsraten im Kreißsaal [154, 249].

Larynxmaske

Eine Larynxmaske (LMA) kann zur Beatmung eines Neugeborenen verwendet werden, insbesondere wenn eine Maskenbeatmung nicht suffizient oder eine tracheale Intubation nicht erfolgreich oder nicht möglich ist [51]. Ein kürzlich

durchgeführter systematischer Review von sieben Studien (794 Neugeborene) zeigte im Vergleich zu einer Beutel-Maske-Beatmung kürzere Beatmungszeiten und eine geringere Notwendigkeit trachealer Intubationen bei Verwendung einer LMA (schwacher bis mäßiger Evidenzgrad) [250]. Allerdings war die Beutel-Maske-Beatmung bei mehr als 80 % der eingeschlossenen Neugeborenen effektiv. Die Effizienz der LMA war vergleichbar mit der einer trachealen Intubation (sehr schwacher bis schwacher Evidenzgrad), was darauf hinweist, dass eine LMA möglicherweise eine Alternative sein könnte, wenn eine tracheale Intubation nicht gelingt oder wenn eine Intubation aufgrund fehlenden Equipments oder fehlender Erfahrung in der sicheren Intubation eines Neugeborenen fehlt.

Da verfügbare Studien nur Früh- und Neugeborene mit einem Geburtsgewicht von $> 1500\text{g}$ bzw. über 34 Schwangerschaftswochen einschlossen, stehen bisher keine Daten bezüglich der Verwendung einer LMA bei kleineren Frühgeborenen zur Verfügung [250, 251]. Es liegen derzeit darüber hinaus ebenfalls weder Daten zur LMA bei Neugeborenen mit mekoniumhaltigem Fruchtwasser oder unter Thoraxkompressionen noch bezüglich der Verabreichung von trachealen Notfallmedikamenten vor.

Tracheale Intubation

Die Durchführung und der Zeitpunkt einer trachealen Intubation sind vor allem abhängig von den Fähigkeiten und der Erfahrung der Versorgenden mit einer Notfallintubation von Neugeborenen.

Formeln zur Einführtiefe eines Tubus können unzuverlässig sein [252, 253]. In **Tab. 1** sind geeignete gewichtsabhängige Einführtiefen für die orale Intubation (und Tubusgrößen), die aus Beobachtungsdaten basierend auf der Schwangerschaftswoche abgeleitet wurden, aufgeführt [254]. Bei nasaler Intubation im Vergleich zu einer oralen Intubation erhöht sich die Einführtiefe durchschnittlich um etwa 1 cm zu den jeweils angegebenen Werten [255]. In der Regel werden bei Neugeborenen Tuben ohne Cuff verwendet. Es gibt bisher keine publizierten Daten,

die für eine routinemäßige Verwendung von gecufften Trachealtuben während der Reanimation von Neugeborenen sprechen würden. Während einer perioperativen Beatmung bei Neugeborenen $< 3\text{kgKG}$ haben sie sich allerdings als sinnvoll erwiesen [256].

Der Durchmesser des engsten Teils der Atemwege variiert mit dem Gestationsalter und der Größe des Neugeborenen. Darüber hinaus variieren auch die Außendurchmesser der Tuben (bei identischem Innendurchmesser) je nach Hersteller und Tubustyp [257]. Die Außendurchmesser der verwendeten Tuben sollen dem Anwender bekannt sein und idealerweise sollen immer Tuben unterschiedlicher Größen zur Verfügung stehen, um den idealen Tubus situationsabhängig auswählen zu können. Der Tubus mit der idealen Größe für das entsprechende Früh- oder Neugeborene ermöglicht eine ausreichende Belüftung bei möglichst geringer Leckage und möglichst geringem Trauma der Atemwege. Ein Tubus mit zu geringem Durchmesser kann zwar in der richtigen Position platziert sein, insbesondere bei einer geringen Lungencompliance und in Verbindung mit einer wahrscheinlich ausgeprägten Tubusleckage werden suffiziente Beatmungen jedoch kaum möglich sein. Eine Schätzung der erforderlichen Tubusgröße gelingt zumeist mit der Formel: $\text{Tubusgröße} \leq \text{Gestationsalter}/10$ [258].

Die Platzierung des Tubus in der Trachea muss während der Intubation unter Sicht erfolgen und die korrekte tracheale Lage muss klinisch überprüft und Tubuslage und -tiefe im Idealfall radiologisch bestätigt werden. Die Markierungen an den Enden der Trachealtuben, die bei der korrekten Platzierung des Tubus helfen sollen, variieren leider abhängig vom Hersteller und Modell erheblich [259]. Bei der Verwendung von Tuben unterschiedlicher Hersteller bzw. unterschiedlichen Modellen innerhalb einer Institution müssen diese Unterschiede bekannt und die Anwender mit diesen vertraut sein. Die Tubusposition kann sich während der Tubusfixierung erneut ändern [254]. Ein systematischer Review zu unterschiedlichen Methoden zur Tubuslagekontrolle zeigte eine bessere Validierung objektiver Beurteilungen der

Tubusposition als subjektive Beurteilungen, wie z. B. die visuelle Beurteilung von Thoraxexkursionen [260]. Nach trachealer Intubation und unter Überdruckbeatmung sind ein sofortiger Anstieg der Herzfrequenz und der Nachweis eines endtidalen CO₂ (etCO₂) gute Anzeichen für eine tracheale Tubuslage [260].

Endtidales CO₂ und Atemfunktionsmonitoring

Zusätzlich zur klinischen Beurteilung einer trachealen Tubuslage wird der Nachweis des endtidalen CO₂ (etCO₂) bei Neugeborenen mit aufrechter Kreislauf-funktion nach der Intubation empfohlen [51]. Selbst bei extremen Frühgeborenen mit sehr geringem Geburtsgewicht [261, 262] kann der Nachweis eines endtidalen CO₂ eine tracheale Tubuslage bei aufrechter Kreislauf-funktion schneller und sicherer bestätigen als eine alleinige klinische Beurteilung [262, 263]. Neugeborene unter Reanimationsmaßnahmen waren aus den vorliegenden Studien ausgeschlossen. Wenn kein etCO₂ nachgewiesen werden kann, deutet dies stark auf eine Fehl-intubation in den Ösophagus oder eine Dislokation hin [261, 263]. Falsch-negative etCO₂-Werte wurden im Kreislaufstillstand [261] und bei Frühgeborenen mit einem sehr geringen Geburtsgewicht (VLBW) beobachtet, selbst wenn etCO₂-Detektoren verwendet wurden, die einen etCO₂-Nachweis auch bei geringen Tidalvolumina erlauben [264]. Ein reduzierter oder fehlender Lungenblutfluss oder eine Obstruktion der Trachea können trotz korrekter Platzierung des Tubus einen Nachweis von etCO₂ möglicherweise verhindern. Beim Neugeborenen fehlen Erkenntnisse, inwiefern Medikamente einen etCO₂-Nachweis beeinträchtigen können. Studien an Erwachsenen legen jedoch nahe, dass Medikamente wie Adrenalin und Bikarbonat den etCO₂-Nachweis beeinflussen können [265]. Ein unzureichender Spitzendruck, um eine ausreichende FRC zu etablieren und ein ausreichendes expiratorisches Tidalvolumen zu erzeugen, könnte ebenfalls Grund für eine fehlende etCO₂-Detektion sein. Ein fehlender etCO₂-Nachweis kann trotz korrekter Tubuslage dann zu einer Extubationsentscheidung führen.

Wenn Zweifel an der Zuverlässigkeit der etCO₂-Detektion bestehen, soll die Lage des Tubus durch direkte Laryngoskopie bestätigt werden.

Sowohl qualitative (kolorimetrische) als auch quantitative (Haupt- oder Nebenstrommessung) Methoden wurden bei Neugeborenen zum etCO₂-Nachweis erfolgreich eingesetzt [266]. Studien bei Erwachsenen legen nahe, dass eine quantitative Kapnographie beim Nachweis des etCO₂ empfindlicher sein kann als eine kolorimetrische Bestimmung. Da jedoch keine Validitätsdaten zur Haupt- oder Nebenstrommessung bei Neugeborenen vorliegen, ist bei der Verwendung einer quantitativen Kapnographie Vorsicht geboten [265, 267, 268].

Eine Flow-Messung kann ebenfalls hilfreich sein, um eine tracheale Lage des Tubus zu bestätigen. In einer randomisierten, kontrollierten Studie konnte die tracheale Lage des Tubus mithilfe eines Flow-Sensors schneller und zuverlässiger als durch eine Kapnographie nachgewiesen werden [269].

Auch bei nicht intubierten Patienten kann ein Monitoring des Atemflusses/-volumens [270] und des etCO₂ [271, 272] durchgeführt werden. Die Anwendbarkeit einer quantitativen Kapnographie unter Maskenbeatmung wurde nachgewiesen, möglicherweise sind die dargestellten etCO₂-Werte allerdings nur wenig zuverlässig [272]. Bezüglich der Verwendung von etCO₂-Detektoren zur Beurteilung der Beatmung mit anderen Hilfsmitteln zur assistierten Beatmung (z. B. nasopharyngeale Tuben, LMA) während der Überdruckbeatmung im Kreißaal stehen keine Daten zur Verfügung.

Videolaryngoskopie

Ein systematischer Review zur Verwendung der Videolaryngoskopie bei Neugeborenen zeigte, dass die Videolaryngoskopie den Erfolg einer trachealen Intubation im ersten Versuch erhöht, aber die Zeit bis zur Intubation oder die Anzahl der Intubationsversuche nicht verringert (mäßiger bis sehr schwacher Evidenzgrad). Die eingeschlossenen Studien wurden jedoch mit Ärzten in Ausbildung durchgeführt, was den potenziellen Stellenwert der Videolaryngoskopie für Aus-

bildung und Training unterstreicht. Weitere gut konzipierte und ausreichend aussagekräftige RCT sind erforderlich, um den Nutzen, die Sicherheit und die Kosteneffizienz der Videolaryngoskopie für die tracheale Intubation bei Neugeborenen für Personen in Ausbildung und für in der direkten Laryngoskopie Erfahrene zu bestätigen [273]. Die Effektivität der Videolaryngoskopie während Reanimationsmaßnahmen wurde bisher nicht untersucht.

Raumluft/Sauerstoff

Reifgeborene und späte Frühgeborene ab 35 Schwangerschaftswochen

Ein kürzlich durchgeführter ILCOR CoSTR empfiehlt, bei Reifgeborenen und späten Frühgeborenen (ab 35 Schwangerschaftswochen), die bei der Geburt eine Atemunterstützung erhalten, mit 21 % Sauerstoff (Raumluft) zu beginnen (schwache Empfehlung, schwacher Evidenzgrad) [1]. Es wird davon abgeraten, mit 100 % inspiratorischer Sauerstoffkonzentration zu beginnen (starke Empfehlung, schwacher Evidenzgrad). Ein systematischer Review und eine Metaanalyse von 5 RCT und 5 Quasi-RCT, die insgesamt 2164 Patienten einschlossen, zeigte für Neugeborene ab 35 Schwangerschaftswochen, die eine Atemunterstützung bei der Geburt mit anfänglich Raumluft statt 100 % Sauerstoff erhielten, eine relative Verringerung der Kurzzeitmortalität um 27 % (RR = 0,73; 95 %-CI 0,57 bis 0,94) [174]. Unterschiede in Bezug auf neurologische Entwicklungsstörungen oder eine hypoxisch-ischämische Enzephalopathie konnten nicht nachgewiesen werden (schwacher bis sehr schwacher Evidenzgrad).

Die Verwendung niedrigerer Sauerstoffkonzentrationen kann bei einer vorliegenden Lungenerkrankung allerdings zu einer insuffizienten Sauerstoffversorgung führen [274]. Im Gegensatz dazu kann eine sehr hohe Sauerstoffkonzentration bei reifen Neugeborenen möglicherweise mit einer verzögert einsetzenden Spontanatmung verbunden sein [275]. Sauerstoff soll daher individuell so titriert werden, dass eine angemessene

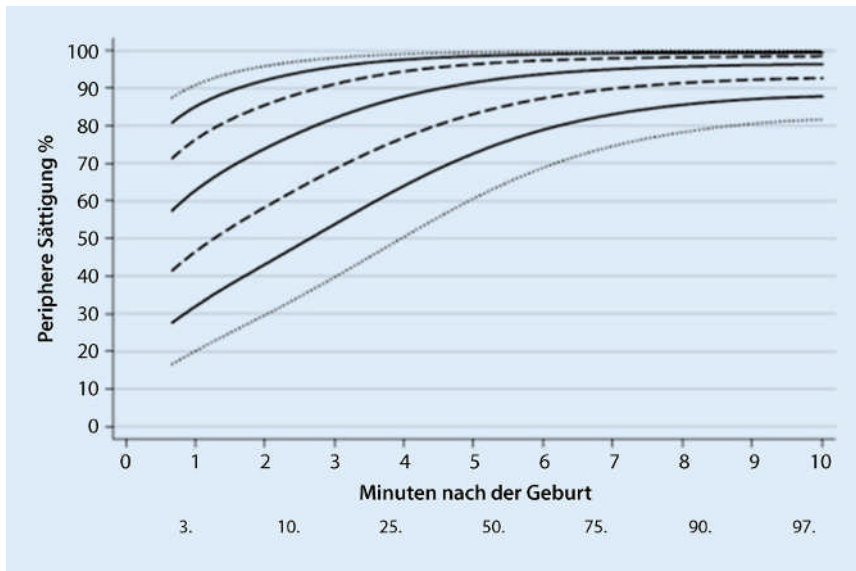


Abb. 10 ▲ Sauerstoffsättigungen bei gesunden Neugeborenen nach der Geburt ohne zusätzliche Maßnahmen (3., 10., 25., 50., 75., 90., 97. Perzentil). (Mit freundlicher Genehmigung – von Dawson 7, S. e1340)

sene präduktale Sättigung erreicht wird. Wird zusätzlicher Sauerstoff verwendet, soll die verabreichte Sauerstoffkonzentration, sobald es möglich ist, wieder reduziert werden [276–278].

Frühgeborene unter 35 Schwangerschaftswochen

In einem systematischen ILCOR-Review und einer Metaanalyse von 10 RCT und vier Kohortenstudien wurden insgesamt 5697 Frühgeborene vor 35 Schwangerschaftswochen eingeschlossen, die bei der Geburt eine Atemunterstützung erhielten. Bei initial verabreichten niedrigen oder höheren Sauerstoffkonzentrationen zeigten sich in Bezug auf die Kurz- oder Langzeitmortalität ($n=968$; RR = 0,83 [95 %-CI 0,50 bis 1,37]), auf neurologische Entwicklungsstörungen oder andere relevante frühgeburtsspezifische Morbiditäten keine statistisch signifikanten Vor- oder Nachteile [279]. Die ILCOR-Empfehlungen schlagen daher für diese Kinder vor, initial eher niedrige (21–30 %) als höhere (60–100 %) Sauerstoffkonzentrationen zu verwenden (schwache Empfehlung, sehr schwacher Evidenzgrad). Der vorgeschlagene Bereich von 21 bis 30 % entspricht dabei den in den klinischen Studien verwendeten niedrigen Sauerstoffkonzentrationen. Die Sauerstoffkonzentration soll anhand

der präduktalen peripheren Sättigung mittels Pulsoxymetrie titriert werden (schwache Empfehlung, schwacher Evidenzgrad) [1].

Im Gegensatz zu Reifgeborenen führt die Verwendung von zusätzlichem Sauerstoff, um eine ausreichende Oxygenierung zu erreichen, bei Frühgeborenen zu vermehrten Atemanstrengungen. In einer tierexperimentellen Studie [280] und einer RCT mit 52 Frühgeborenen vor 30 Schwangerschaftswochen [281] führte eine Stabilisierung mit initial höheren Sauerstoffkonzentrationen (100 % gegenüber 30 %) zu vermehrten Atemanstrengungen, einer verbesserten Oxygenierung und einer kürzer notwendigen Maskenbeatmung. Das Atemminutenvolumen war mit 100 % Sauerstoff ($146,34 \pm 112,68$ ml/kgKG/min) signifikant höher als mit 30 % ($74,43 \pm 52,19$ ml/kgKG/min, $p=0,014$).

In einem kürzlich veröffentlichten europäischen Konsensus wurde die Verwendung einer initialen Sauerstoffkonzentration von 30 % für Frühgeborene vor 28 Schwangerschaftswochen, von 21 bis 30 % für Frühgeborene von 28 bis 31 Schwangerschaftswochen und von 21 % für Frühgeborene ab 32 Schwangerschaftswochen und reife Neugeborene empfohlen [282].

Zielsauerstoffsättigung

Der empfohlene Zielbereich der peripheren Sauerstoffsättigung ist für Früh- und Reifgeborene gleich und basiert auf zeitbasierten Werten für die präduktale Sättigung bei gesunden Reifgeborenen bei Raumluft [7]. Konsensempfehlungen schlagen vor, sich bezüglich der Zielwerte dem Interquartilbereich anzunähern [283] oder das 25. Perzentil der Normalverteilung als untersten Grenzwert zu verwenden ([51]; ■ Abb. 10).

Ein systematisches Review von 8 RCT mit 768 Frühgeborenen vor 32 Wochen mit niedrigen (≤ 30 %) gegenüber höheren (≥ 60 %) initial verabreichten Sauerstoffkonzentrationen ergab, dass das Nichterreichen einer Mindest- S_pO_2 von 80 % nach fünf Minuten mit einem doppelten Risiko zu versterben (OR 4,57; 95 %-CI 1,62 bis 13,98; $p < 0,05$), einer niedrigen Herzfrequenz (mittlere Differenz $-8,37$; 95 %-CI $-15,73$ bis $-1,01$; $p < 0,05$) sowie einem höheren Risiko für schwere intraventrikuläre Blutungen (OR 2,04; 95 %-CI 1,01 bis 4,11; $p < 0,05$) verbunden war [284]. Es ist allerdings unklar, ob die Ursache in der Schwere der Grunderkrankung oder an der während der Stabilisierung verabreichten Sauerstoffkonzentration lag.

Die derzeit verfügbaren Daten legen nahe, dass fast alle Frühgeborenen vor 32 Schwangerschaftswochen in den ersten fünf Minuten nach der Geburt eine Sauerstoffgabe erhalten müssen, um die allgemein empfohlenen Ziele für die Sauerstoffsättigung zu erreichen [7, 278, 284]. Insbesondere in den ersten Minuten der Versorgung eines Frühgeborenen vor 32 Schwangerschaftswochen kann es jedoch schwierig sein, die Sauerstoffkonzentration so zu titrieren, dass diese Zielbereiche zu jeder Zeit eingehalten werden [285, 286]. In einer individualisierten Patientenanalyse von 706 in die RCT aufgenommenen Frühgeborenen erreichten nur 12 % fünf Minuten nach der Geburt den angestrebten Grenzwert von 80 % präduktaler peripherer Sättigung [284].

Titrierung von Sauerstoff

Um Hypoxien, Hyperoxien und Bradykardien während der Versorgung Früh- oder Neugeborener möglichst zu vermeiden, muss die initial gewählte verab-

reichte Sauerstoffkonzentration im Verlauf stetig überprüft werden und an die in Abhängigkeit von der Zeit angestrebten peripheren präduktalen Sättigungswerte angepasst und entsprechend titriert werden. Ein kürzlich durchgeführter Review ergab, dass die zugeführte Sauerstoffkonzentration daher alle 30 s überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden soll [287].

Bei Verwendung eines T-Stück-Systems für die Atemunterstützung oder Beatmung liegt ein wichtiger technischer Aspekt für die Titrierung von Sauerstoff darin, dass es im Median 19 s (IQR 0–57) dauert, bis sich die am Sauerstoffmischer gewählte Sauerstoffkonzentration am distalen Ende des T-Stück-Systems einstellt [288]. Obwohl die Ursachen dieser Verzögerung insgesamt unklar sind, scheint ein guter Maskensitz, verbunden mit nur einer geringen Leckage, die Zeit bis zum Erreichen der am Sauerstoffmischer eingestellten Sauerstoffkonzentration am distalen Ende des T-Stück-Systems deutlich zu verlängern.

Kreislaufunterstützung

Eine Kreislaufunterstützung mit Thoraxkompressionen ist nur dann wirksam, wenn die Lunge zuvor erfolgreich entfaltet wurde und Sauerstoff zum Herzen transportiert werden kann. Die Beatmung kann allerdings durch Thoraxkompressionen beeinträchtigt werden. Daher muss eine effektive Beatmung sichergestellt sein, bevor mit Thoraxkompressionen begonnen wird [289].

Am effektivsten werden Thoraxkompressionen durchgeführt, indem der Thorax mit beiden Händen umgriffen wird. Die zwei Daumen liegen dabei auf dem unteren Drittel des Brustbeins und die anderen Finger liegen auf dem Rücken (Zwei-Daumen-Technik) [290–293]. Diese Technik erzeugt einen höheren Blutdruck und koronaren Perfusionsdruck als die alternative Zwei-Finger-Technik [294, 295]. In einer Studie an Reanimationspuppen war das Aufeinanderlegen der Daumen am Brustbein effektiver als das Nebeneinanderlegen, verursachte aber eine frühere Ermüdung [296]. Bei der Thoraxkom-

pression wird der Brustkorb zunächst auf ungefähr ein Drittel des anterior-posterioren Durchmessers komprimiert und anschließend wieder vollständig entlastet [297–301]. Thoraxkompressionen „über Kopf“ scheinen dabei genauso effektiv zu sein wie Kompressionen von der Seite des Neugeborenen [302].

Ein aktueller ILCOR-Review zur Evidenz identifizierte 19 seit 2015 veröffentlichte Studien zu Thoraxkompressionen, darunter einen systematischen Review und 18 RCT, bei denen es sich allerdings ausschließlich um Studien an Reanimationspuppen handelte [303]. Es wurde keine neue Evidenz dafür gefunden, die Empfehlungen von 2015 zu ändern. Thoraxkompressionen sollen beim Neugeborenen weiterhin bevorzugt mit der Zwei-Daumen-Technik durchgeführt werden (schwache Empfehlung, sehr schwacher Evidenzgrad) [1]. Neuere Techniken, z. B. die Positionierung der Daumen in einem Winkel von 90° zum Thorax oder die sog. „Klopfinger“-Technik, sind bisher nur an Reanimationspuppen beschrieben worden. Weitere Studien sind erforderlich, um einen Vorteil dieser Techniken gegenüber der Zwei-Daumen-Technik zu belegen [1, 304].

Um das effektivste Verhältnis von Thoraxkompressionen zu Ventilationen für die Reanimation von Neugeborenen zu ermitteln, wurde eine Aktualisierung der Evidenz durch das ILCOR durchgeführt [1]. Dabei wurden 13 seit 2015 veröffentlichte Studien als relevant befunden. Vier Studien mit Neugeborenen-Reanimationspuppen, in denen alternative Kompressions-/Ventilationsverhältnisse bzw. asynchrone Ventilationsstrategien untersucht wurden, zeigten keinen Vorteil gegenüber einer Reanimation mit einem Verhältnis von drei Thoraxkompressionen zu einer Ventilation. In mehreren tierexperimentellen Studien wurde die Durchführung von Thoraxkompressionen während einer anhaltenden Inspiration der Lunge mit dem etablierten 3:1-Verhältnis verglichen. Es wurden dabei keine konstant klaren Vorteile festgestellt. Einige Studien sind diesbezüglich allerdings noch nicht abgeschlossen.

Die ILCOR-Empfehlungen von 2015 für das Verhältnis von drei Kompressio-

nen zu einer Ventilation (insgesamt etwa 90 Kompressionen und 30 Ventilationen pro Minute) bleiben daher unverändert (schwache Empfehlung, sehr schwacher Evidenzgrad) [1, 51, 146]. Kompressionen und Ventilationen müssen koordiniert werden, um eine gleichzeitige Durchführung zu vermeiden [305]. Eine Entlastungsphase, die etwas länger als die Kompressionsphase ist, bietet theoretische Vorteile. Die Qualität der Thoraxkompressionen und der Ventilationen ist wahrscheinlich wichtiger als die Frequenz [306].

Eine Beeinträchtigung des Gasaustauschs ist zumeist die Ursache für einen postnatalen Herz-Kreislauf-Stillstand. Daher sollen Neugeborene nach der Geburt prinzipiell im Verhältnis von drei Kompressionen zu einer Ventilation reanimiert werden.

Wenn angenommen wird, dass der Kreislaufstillstand kardialen Ursprungs ist, kann auch in einem Verhältnis von z. B. 15:2 reanimiert werden. Dies ist allerdings bei einem beobachteten Kreislaufstillstand im späteren Verlauf wahrscheinlicher als unmittelbar nach der Geburt.

Wenn Thoraxkompressionen aufgrund einer anhaltend sehr langsamen oder fehlenden Herzfrequenz durchgeführt werden müssen, ist es wahrscheinlich sinnvoll, den zugeführten Sauerstoff auf 100 % zu erhöhen. Es gibt jedoch keine Studien am Menschen, welche dies belegen. Studien am Tiermodell zeigten keinen Vorteil für die Erhöhung des zugeführten Sauerstoffs auf 100 % während der kardiopulmonalen Reanimation [307–313].

Die Herzfrequenz soll spätestens 30 s nach Beginn der kardiopulmonalen Reanimation und im weiteren Verlauf regelmäßig überprüft werden, solange kein kontinuierliches Monitoring wie ein EKG oder eine Pulsoxymetrie etabliert wurde. Thoraxkompressionen sollen durchgeführt werden, bis die Herzfrequenz über 60/min liegt. Nur ein weiterer kontinuierlicher Anstieg der Herzfrequenz bedeutet eine tatsächliche klinische Verbesserung. Eine stabile Kreislaufsituation zeigt sich meist erst ab einer Herzfrequenz von etwa 120/min [132, 133].

Eine Messung des ausgeatmeten Kohlendioxids und eine Pulsoxymetrie können hilfreich sein, um die Rückkehr des Spontankreislaufs (ROSC) anzuzeigen [314–317]. Für die Verwendung einzelner Feedbacksysteme besteht beim Neugeborenen im klinischen Einsatz keine Evidenz. Die Extrapolation aus der Erwachsenen- und Kindermedizin wurde bei Neugeborenen aus verschiedenen Gründen als fehleranfällig beschrieben [51, 146, 267].

Gefäßzugang

Peripherer Zugang

Es konnten keine Studien zur Verwendung von peripheren Zugängen bei Neugeborenen unter Reanimation identifiziert werden. Eine retrospektive Analyse von 70 stabilen Frühgeborenen in einem einzigen Zentrum zeigte, dass ein peripherer Zugang in den meisten Fällen (61/70) beim ersten Versuch erfolgreich war [318].

Nabelvenenkatheter und intraossärer Zugang (i.o.)

In einem systematischen Review wurden keine Vergleiche zwischen Nabelvenenkathetern, peripheren Zugängen und intraossären Zugängen für die Verabreichung von Medikamenten bei Neugeborenen gefunden [1]. Es konnten keine Fallserien oder Fallberichte zur Verwendung eines intraossären Zugangs im Kreißsaal identifiziert werden. Der Nabelvenenkatheter ist im Rahmen der Neugeborenenreanimation als Gefäßzugang der ersten Wahl anerkannt. Der intraossäre Zugang kann eine sinnvolle Alternative sein, vor allem dann, wenn ein Nabelvenenkatheter nicht möglich ist oder die Geburt in einer anderen Umgebung als dem Kreißsaal erfolgt (schwache Empfehlung, sehr schwacher Evidenzgrad).

Ein systematischer Review zur Verwendung von intraossären Zugängen bei Neugeborenen identifizierte 12 Fallberichte und eine Fallserie über die Anwendung von 41 intraossären Zugängen bei Neugeborenen, die verschiedene Medikamente, einschließlich Adrenalin und Volumen bekamen [319]. Obwohl gezeigt wurde, dass der intraossäre Zugang ei-

ne praktische Alternative zum Nabelvenenkatheter darstellt, können signifikante Komplikationen auftreten. Dazu gehören Frakturen der Tibia, Osteomyelitis und Extravasate von Flüssigkeiten und Medikamenten, die zu einem Kompartmentsyndrom und einer Amputation führen können [1].

Für Neugeborene unmittelbar nach der Geburt gibt es insgesamt nur eine begrenzte Evidenz für den Einsatz, die optimale Punktionsstelle sowie die Art des intraossären Zugangs [320]. Simulationsstudien im Kreißsaal zeigten, dass der intraossäre Zugang schneller zu etablieren und zu verwenden ist als der Nabelvenenkatheter [321].

Die Entscheidung über die Methode des Zugangs ist grundsätzlich abhängig von der Verfügbarkeit, der Ausrüstung, dem Training und der Erfahrung des Anwenders [1].

Medikamente

Bei der Reanimation des Neugeborenen sind selten Medikamente notwendig [13, 14]. Im Allgemeinen führt eine ausgeprägte Hypoxie letztlich zu einer Bradykardie und die entscheidende Maßnahme für die erfolgreiche Reanimation eines Neugeborenen ist zumeist, die mit Flüssigkeit gefüllte Lunge zu öffnen und eine suffiziente Beatmung durchzuführen. Steigt die Herzfrequenz jedoch trotz suffizienter Beatmungen und Thoraxkompressionen nicht über 60/min, ist es sinnvoll, die Verwendung von Medikamenten in Betracht zu ziehen.

Das Wissen über den Einsatz von Medikamenten bei der Reanimation von Neugeborenen beschränkt sich weitgehend auf retrospektive Studien sowie auf die Extrapolation von Untersuchungen bei Erwachsenen und Tieren [322].

Adrenalin

Ein aktueller systematischer Review identifizierte zwei Beobachtungsstudien mit 97 Neugeborenen, die Dosierungen und Applikationswege von Adrenalin verglichen [323]. Es gab keine Unterschiede zwischen intravenös und tracheal verabreichtem Adrenalin für den primären Endpunkt Tod bei Entlassung aus dem Krankenhaus (RR = 1,03; 95 %-

CI 0,62 bis 1,71), für das Ausbleiben eines ROSC (1 Studie; 50 Neugeborene) oder einer wiederholten Adrenalingabe (2 Studien; 97 Neugeborene). Es gab keine Unterschiede in Bezug auf das Outcome bei zwei verschiedenen trachealen Dosierungen (1 Studie). Es wurden keine Studien bei Neugeborenen gefunden, die sich mit der venösen Gabe oder dem Dosierungsintervall befassten (sehr schwacher Evidenzgrad). Trotz des Fehlens valider Humandaten bei Neugeborenen erscheint eine Adrenalingabe sinnvoll, wenn trotz effektiver Beatmungen und Thoraxkompressionen die Herzfrequenz nicht über 60/min ansteigt. Laut ILCOR-Behandlungsempfehlungen soll Adrenalin in einer Anfangsdosis von 10 bis 30 µg/kgKG (0,1–0,3 ml/kgKG 1:10.000 Adrenalin [1000 µg in 10 ml]) intravenös verabreicht werden (schwache Empfehlung, sehr schwacher Evidenzgrad). Wenn noch kein Gefäßzugang verfügbar ist, wird die tracheale Gabe von Adrenalin in einer höheren Dosis von 50 bis 100 µg/kgKG (0,5–1,0 ml/kgKG von 1:10.000 Adrenalin [1000 µg in 10 ml]) empfohlen (schwache Empfehlung, sehr schwacher Evidenzgrad). Eine tracheale Adrenalingabe soll das Legen eines Gefäßzugangs jedoch nicht verzögern (schwache Empfehlung, sehr schwacher Evidenzgrad). Bleibt die Herzfrequenz weiter unter 60/min, werden weitere Adrenalingaben – vorzugsweise intravenös/intraossär – alle 3–5 min empfohlen (schwache Empfehlung, sehr schwacher Evidenzgrad). Zeigt eine tracheale Adrenalingabe keine Wirkung, wird eine umgehende intravenöse Gabe empfohlen, sobald ein venöser Zugang zur Verfügung steht, unabhängig davon, wann zuvor das letzte Adrenalin tracheal verabreicht wurde (schwache Empfehlung, sehr schwacher Evidenzgrad) [1].

Glukose

Eine Hypoglykämie ist ein wichtiger zusätzlicher Risikofaktor für eine perinatale zerebrale Schädigung [324]. Endogene Glykogenspeicher werden bei längerer Hypoxie schnell aufgebraucht. In einer Studie zeigten Neugeborene mit perinataler Asphyxie vor der Gabe von Glukose im Kreißsaal signifikant niedrigere Blutzuckerwerte (1,9 ± 0,6 mmol/l vs.

3,2 ± 0,3 mmol/l) [325]. Daher ist es bei längerer Reanimation möglicherweise sinnvoll, einen Bolus von 250 mg/kgKG (2,5 ml/kgKG 10%ige Glukoselösung) zu verabreichen. Nach erfolgreicher Wiederbelebung sollen Maßnahmen eingeleitet werden, um sowohl eine Hypoglykämie als auch eine Hyperglykämie zu verhindern (siehe „Weitere Versorgung nach erfolgreicher Reanimation“).

Volumenersatz

Ein aktuelles ILCOR-Evidenz-Update [1] konnte keine weiteren Humanstudien identifizieren, aber eine einzelne RCT im Tiermodell, die die CoSTR-Empfehlungen von 2010 unterstützte [36, 276]. Ein frühzeitiger Volumenersatz soll bei Neugeborenen mit Blutverlust, die nicht auf Reanimationsmaßnahmen ansprechen, erfolgen. Wenn der Verdacht auf einen Blutverlust besteht oder das Neugeborene Zeichen für einen Schock zeigt (ausgeprägte Blässe, schlechte Hautperfusion, schwacher Puls) und nicht angemessen auf andere Reanimationsmaßnahmen reagiert, soll ein Volumenersatz durch eine isotonische, kristalloide Lösung oder durch eine Gabe von Erythrozytenkonzentrat erwogen werden. Allerdings sind Blutverluste, die beim Neugeborenen eine akute Hypovolämie verursachen, eher selten. Es gibt wenig Erkenntnisse, die eine Flüssigkeitsgabe ohne Hinweis auf einen Blutverlust unterstützen, wenn das Neugeborene nicht auf Beatmung, Thoraxkompressionen und Adrenalin reagiert. Da der Blutverlust jedoch nicht offensichtlich sein kann und die Unterscheidung zwischen normovolämischen asphyktischen Neugeborenen im Schock und hypovolämischen Neugeborenen problematisch sein kann, kann eine Volumengabe in diesen Situationen grundsätzlich in Erwägung gezogen werden [1].

Steht kein geeignetes Blut zur Verfügung (d.h. Rh-negatives Blut der Gruppe 0), sind isotone kristalloide Lösungen, anstelle von Albumin, die Volumentherapeutika der ersten Wahl zur Verbesserung des intravasalen Volumens. Zunächst kann ein Bolus von 10 ml/kgKG verabreicht werden. Bei Erfolg muss der Bolus möglicherweise wiederholt werden, um eine klinische

Verbesserung aufrechtzuerhalten. Bei der Reanimation von Frühgeborenen ist ein Volumenbolus nur sehr selten notwendig und die schnelle Verabreichung großer Volumina ist mit der Gefahr von intraventrikulären und pulmonalen Blutungen verbunden [326].

Natriumbikarbonat

Wenn ein Spontankreislauf und ein suffizientes Herzzeitvolumen trotz suffizienter Beatmung und adäquater Thoraxkompressionen nicht wiederhergestellt werden kann, verbessert der Ausgleich einer intrakardialen Azidose möglicherweise die Myokardfunktion und begünstigt die Herstellung eines ROSC. Es stehen nicht ausreichend Daten zur Verfügung, um die routinemäßige Gabe von Natriumbikarbonat bei der Reanimation des Neugeborenen zu empfehlen. Die Hyperosmolarität und die kohlendioxid erzeugende Eigenschaft von Natriumbikarbonat können die Myokard- und Gehirnfunktion darüber hinaus beeinträchtigen [327].

Ein aktueller Evidenzreview [1] ergab, dass es keine Gründe gibt, die Empfehlungen von 2010 bezüglich einer Natriumbikarbonatgabe im Rahmen einer Neugeborenenreanimation zu ändern [36, 276]. Die Verwendung von Natriumbikarbonat wird während einer kurzen kardiopulmonalen Reanimation nicht empfohlen. Die Anwendung kann jedoch bei längerem Kreislaufstillstand, der nicht auf eine andere Therapie anspricht, in Betracht gezogen werden. Natriumbikarbonat soll in jedem Fall erst nach suffizienter Beatmung und adäquaten Thoraxkompressionen gegeben werden. Es kann langsam intravenös in einer Dosis von 1 bis 2 mmol/kgKG Natriumbikarbonat (2–4 ml/kgKG 4,2%ige Lösung) verabreicht werden.

Naloxon

Es gibt keinerlei Evidenz dafür, dass die Gabe von Naloxon klinisch relevante Vorteile bei Neugeborenen mit Atemdepression aufgrund einer Hypoxie bringt [328, 329]. Aktuelle Empfehlungen unterstützen die Verwendung von Naloxon während der Reanimation daher nicht. Der Schwerpunkt soll hingegen immer

auf einer effektiven Unterstützung der Atmung liegen.

Bei Neugeborenen von Müttern, die unter der Geburt eine Analgesie mit Opioiden erhalten haben, die trotz effektiver Reanimationsmaßnahmen bei gutem Herzzeitvolumen apnoeisch bleiben, kann eine initiale intramuskuläre Dosis von 200 µg Naloxon, unabhängig vom Gewicht, in Erwägung gezogen werden. Eine intramuskuläre Gabe von Naloxon führt zu einer konstanten Plasmakonzentration über circa 24 h [330]. Neugeborene mit einer Atemdepression durch Opiode können nach Gabe von Naloxon eine Rebound-Tachypnoe zeigen [331].

Weitere Versorgung nach erfolgreicher Reanimation („post-resuscitation care“)

Hypo- und Hyperglykämie

Eine perinatale Hypoxie beeinträchtigt die metabolische Anpassung und die Aufrechterhaltung der zerebralen Energieversorgung in vielerlei Hinsicht. Deutlich erniedrigte Blutzuckerspiegel im Kreislauf fördern die Ketogenese [325]. Hypoglykämien sind grundsätzlich bei perinataler Hypoxie häufig zu beobachten. So hatte ein Viertel der Neugeborenen mit mittelschwerer bis schwerer hypoxisch-ischämischer Enzephalopathie (HIE), die einem nationalen Hypothermieregister gemeldet wurden, einen Blutzuckerwert von weniger als 2,6 mmol/l [332].

Ergebnisse aus tierexperimentellen Studien deuten darauf hin, dass eine hypoxiebedingte zerebrale Schädigung sowohl durch eine Hypoglykämie als auch durch eine Hyperglykämie verstärkt wird [333–335]. Bei Neugeborenen mit HIE ist ein frühes pathologisches Blutzuckerprofil (d.h. Hypoglykämien, Hyperglykämien oder schwankende Blutzuckerwerte) im Vergleich zur Normoglykämie mit deutlichen Mustern von zerebralen Schädigungen im MRT assoziiert [325]. Hyperglykämien und schwankende Blutzuckerwerte waren im amplitudenintegrierten EEG zudem mit einer pathologischen globalen Gehirnfunktion und Krampfanfällen assoziiert [336].

Sowohl Hypoglykämie als auch Hyperglykämie waren in der CoolCap-Studie [337] mit einem schlechten neurologischen Outcome verbunden. Bei Neugeborenen mit perinataler Hypoxie besteht ein eindeutiger Zusammenhang zwischen einer initialen Hypoglykämie und einem schlechten neurologischen Outcome [338, 339].

Ein aktueller ILCOR-Evidenzreview zum Blutzuckermanagement nach erfolgreicher Reanimation konnte keine systematischen Reviews oder RCT speziell zum Management der Blutzuckerwerte in den ersten Lebensstunden identifizieren [1]. Seit 2015 wurden 13 nichtrandomisierte Studien oder Beobachtungsstudien veröffentlicht, in denen untersucht wurde, ob die Aufrechterhaltung einer Normoglykämie während oder unmittelbar nach Reanimation das Outcome verbessert.

Die aktualisierte Leitlinie empfiehlt für Neugeborene, die prolongierte Reanimationsmaßnahmen benötigen, eine entsprechende Überwachung und Therapie der Blutzuckerwerte, um den Blutzuckerspiegel im Normbereich zu halten. Es sollen Protokolle für das Management des Blutzuckerspiegels verwendet werden, um sowohl eine Hypo- als auch eine Hyperglykämie und große Schwankungen der Blutzuckerwerte zu vermeiden. Das Evidenzupdate legt der Forschung nahe, dass die Entwicklung optimaler Protokolle für das Management des Blutzuckerspiegels und die optimalen Zielbereiche der Blutzuckerwerte von Früh- und Reifgeborenen nach erfolgreicher Reanimation hohe Priorität haben sollen. Insgesamt erfolgte keine Änderung der vorherigen Empfehlung, dass eine intravenöse Glukoseinfusion kurz nach der Reanimation in Betracht gezogen werden soll, um eine Hypoglykämie zu vermeiden (schwacher Evidenzgrad) [340].

Erwärmen

Falls keine Indikation für eine therapeutische Hypothermie besteht, soll eine Hypothermie nach der Geburt aufgrund der Evidenz für ein schlechtes Outcome korrigiert werden [78, 79]. Neugeborene sollen dann grundsätzlich in einem normalen Temperaturbereich gehalten werden.

Ein aktueller ILCOR-Evidenzreview konnte zeigen, dass seit den vorherigen Leitlinien keine zusätzlichen systematischen Reviews oder RCT veröffentlicht wurden [1]. Zwei retrospektive Beobachtungsstudien mit 182 Patienten [341] und 98 Patienten [342] wurden identifiziert, die untersuchten, ob eine schnelle oder langsame Wiedererwärmung bei Neugeborenen mit Hypothermie ($\leq 36^\circ\text{C}$ bei Aufnahme) das Outcome verändert. Nach Elimination von Störfaktoren zeigten die Ergebnisse beider Studien, dass die kritischen und relevanten Outcomeparameter durch die Geschwindigkeit der Wiedererwärmung nicht beeinflusst werden. Aus einer weiteren Studie lässt sich allerdings ableiten, dass eine schnelle Wiedererwärmung das Risiko für ein Atemnotsyndrom verringert [341]. Dies führte zu der Schlussfolgerung, dass keine neue Evidenz für eine Änderung des ILCOR-Konsensus von 2015 besteht und dass jede Empfehlung für eine schnelle ($0,5^\circ\text{C}/\text{h}$ oder mehr) oder langsame Wiedererwärmung ($0,5^\circ\text{C}/\text{h}$ oder weniger) von ungewollt hypothermen Neugeborenen (Temperatur unter 36°C) spekulativ wäre [276, 340, 343].

Therapeutische Hypothermie

Das Thema therapeutische Hypothermie wurde im Rahmen des aktuellen ILCOR-Prozesses nicht erneut evaluiert. Ein Cochrane-Review mit 11 randomisierten, kontrollierten Studien und 1505 Reifgeborenen und späten Frühgeborenen ergab, dass die therapeutische Hypothermie zu einer statistisch signifikanten und klinisch relevanten Verringerung des kombinierten Outcomes von Mortalität oder schwerer neurologischer Entwicklungsstörung bis zum Alter von 18 Monaten führte (typisches RR 0,75; 95 %-CI 0,68 bis 0,83; typische RD $-0,15$; 95 %-CI $-0,20$ bis $-0,10$). Daher sollen Reifgeborene oder späte Frühgeborene mit einer mittelschweren bis schweren hypoxisch-ischämischen Enzephalopathie einer therapeutischen Hypothermie zugeführt werden [344]. Die Kühlung soll nach klar definierten, evidenzbasierten Protokollen auf einer Neugeborenenintensivstation mit der Möglichkeit einer multidisziplinären Versorgung begonnen und durchgeführt

werden. Die Behandlung soll innerhalb von 6 h nach der Geburt begonnen werden, die Zieltemperatur soll zwischen $33,5$ und $34,5^\circ\text{C}$ liegen und für 72 h andauern. Die Wiedererwärmung soll über mindestens vier Stunden erfolgen. Eine RCT mit vier Armen, in die 364 Neugeborene eingeschlossen wurden und randomisiert länger (120 h) oder tiefer (32°C) gekühlt wurden, ergab keinen Hinweis auf den Nutzen einer längeren Kühlung oder niedrigerer Temperaturen [345]. Tierexperimentelle Daten deuten stark darauf hin, dass die Wirksamkeit der Kühlung mit einem frühzeitigen Beginn der Therapie zusammenhängt. Auch eine 6 bis 24 h nach der Geburt eingeleitete Hypothermie kann noch von Vorteil sein. Bei einem späteren Beginn als sechs Stunden postnatal ist die Effektivität der Maßnahme allerdings unklar [346]. Eine solche Therapieentscheidung liegt im Ermessen des Behandlungsteams und soll individuell getroffen werden. Die derzeitige Evidenz reicht nicht aus, um eine routinemäßige therapeutische Hypothermie bei Neugeborenen mit leichter Enzephalopathie zu empfehlen [347].

Prognose (Dokumentation)

Dieses Thema wurde im Rahmen des aktuellen ILCOR-Prozesses nicht evaluiert. Es wurden keine systematischen oder Scoping-Reviews identifiziert.

Der APGAR-Score war als „einfache, gebräuchliche, eindeutige Klassifikation des Neugeborenen nach der Geburt“ gedacht und soll „als Diskussionsgrundlage und zum Vergleich verschiedener geburtshilflicher Praktiken, Verfahren zur mütterlichen Schmerztherapie und zur Beurteilung der Effektivität von Reanimationsmaßnahmen“ dienen (Betonung durch die Leitlinienautoren) [115]. Auch wenn der APGAR-Score weiterhin im klinischen Alltag, für wissenschaftliche Studien und als prognostisches Hilfsmittel verwendet wird, wird seine Eignung durch die hohe inter- und intrapersonelle Variabilität bei seiner Erhebung zunehmend infrage gestellt. In einer retrospektiven Studie mit 42 Neugeborenen zwischen 23 und 40 Schwangerschaftswochen stellten O'Donnell et al. eine signifikante Diskrepanz (durchschnitt-

lich 2,4 Punkte) zwischen Beobachtern, die den APGAR anhand von Videos der Geburten retrospektiv bewerteten, im Vergleich zum bei der Geburt anwesenden Team, fest [348].

Eine geringe Korrelation mit dem Outcome erklärt sich teilweise aus einer mangelnden Übereinkunft darüber, wie der APGAR-Score von Neugeborenen, bei welchen Maßnahmen zur Stabilisierung oder Reanimation notwendig sind oder bei Frühgeburtlichkeit bewertet werden soll. Es wurden Variationen des APGAR-Scores vorgeschlagen, die den Reifegrad und durchgeführte Interventionen berücksichtigen, z. B. eine „spezifizierte“, „erweiterte“ und „kombinierte“ Version. Diese Versionen haben möglicherweise eine genauere Vorhersagefähigkeit in Bezug auf das Outcome von Frühgeborenen und Reifgeborenen im Vergleich zum herkömmlichen Score, ihre Verwendung ist jedoch wenig verbreitet [349, 350].

Kommunikation mit den Eltern

Die Grundsätze für die Notwendigkeit einer guten Kommunikation mit den Eltern leiten sich aus dem klinischen Konsens ab und wurden in europäischen und britischen Leitlinien publiziert [351, 352].

Mortalität und Morbidität bei Neugeborenen variieren je nach Region, ethnischer Zugehörigkeit und Verfügbarkeit von Ressourcen [353–355]. Sozialwissenschaftliche Studien zeigen, dass Eltern an Entscheidungen zur Wiederbelebung oder zur Beendigung der lebenserhaltenden Maßnahmen bei stark beeinträchtigten Neugeborenen beteiligt sein möchten [356, 357]. Lokale Überlebens- und Outcomedaten sind wichtig für eine angemessene Beratung der Eltern. Der institutionelle Ansatz zum Management (zum Beispiel an der Grenze der Lebensfähigkeit) wirkt sich dabei auf die Ergebnisse bei überlebenden Neugeborenen aus [358].

Europäische Leitlinien unterstützen die Anwesenheit der Familie während einer kardiopulmonalen Reanimation [359]. Familienmitgliedern wird, vor allem im Kreißsaal, zunehmend auch die Möglichkeit angeboten, auch während einer Reanimation anwesend zu sein.

Der Wunsch der Eltern, bei der Reanimation anwesend zu sein, soll wann immer möglich unterstützt werden [1, 360, 361].

Es gibt nicht genügend Evidenz, um diesbezüglich einen Einfluss auf das Outcome des Patienten oder der Familie nachzuweisen. Einige Eltern bewerten die Möglichkeit, bei der Reanimation ihres Neugeborenen anwesend zu sein, als positive Erfahrung. Sowohl bei versorgenden Personen als auch bei Familienmitgliedern kann allerdings auch eine Sorge hinsichtlich einer Auswirkung auf die Teamperformance wahrgenommen werden (schwache Empfehlung, sehr schwacher Evidenzgrad) [1, 361].

In einem Review eines einzelnen Zentrums zum Geburtsmanagement unterstützten die interviewten Eltern das oben beschriebene Vorgehen, einige fanden es aber schwierig, eine Reanimation zu beobachten [362]. Die beteiligten Kliniker waren der Ansicht, dass die unmittelbare Nähe die Kommunikation mit den Eltern verbesserte. Befragungen deuteten aber darauf hin, dass möglicherweise Unterstützung und Training im Umgang mit solchen Situationen für die Teams notwendig sind [363]. In einer retrospektiven, auf einem Fragebogen basierenden Umfrage zur Arbeitsbelastung von Ärzten während der Reanimation, schien die Arbeitsbelastung durch die Anwesenheit von Eltern als geringer wahrgenommen zu werden [364].

Qualitative Evidenz unterstreicht die Notwendigkeit der Unterstützung nach, wie auch immer gearteten, kritischen Situationen rund um die Geburt, da diese Erlebnisse um die Geburt sonst eine negative Erfahrung mit posttraumatischen Folgen sein können [365, 366]. Die Eltern sollen die Möglichkeit haben zu reflektieren, Fragen zu Einzelheiten der Reanimation zu stellen und sollen über verfügbare Unterstützungsangebote (z. B. psychologisch oder seelsorgerisch) informiert werden [360]. Es kann hilfreich sein, den Eltern und engen Bezugspersonen die Möglichkeit zu geben, das Erlebte und Gesehene zu einem späteren Zeitpunkt erneut zu besprechen [365, 366].

Verzicht und Beendigung von Reanimationsmaßnahmen

Beendigung von Reanimationsmaßnahmen

Ein nach 10 bis 20 min fehlender Spontankreislauf (fehlender ROSC) trotz technisch korrekt durchgeführter Reanimationsmaßnahmen ist bei Neugeborenen nach der Geburt mit einem hohen Mortalitätsrisiko und einem hohen Risiko schwerer neurologischer Entwicklungsstörungen bei den Überlebenden verbunden. Eine bestimmte Dauer der Reanimation ist allerdings nicht mit einer bestimmten Mortalität oder einem bestimmten Grad einer neurologischen Beeinträchtigung assoziiert.

Wenn die Herzfrequenz länger als 10 min nicht nachweisbar war, muss das Outcome nicht zwangsläufig schlecht sein [367–369]. In einem aktuellen systematischen ILCOR-Review aus 13 Studien mit 277 Neugeborenen wurde für das Überleben ohne Beeinträchtigung der neurologischen Entwicklung eine schwache Evidenz (herabgestuft durch das Risiko von Bias und Inkonsistenzen) ermittelt. Von allen 277 Neugeborenen starben 69% vor der letzten Nachuntersuchung, 18% überlebten mit mittelschwerer bis schwerer Beeinträchtigung der neurologischen Entwicklung und 11% überlebten ohne mittelschwere oder schwere Beeinträchtigung der neurologischen Entwicklung (bei 2% lagen keine Follow-up-Daten vor) [1]. Für die Entscheidung zum Fortführen einer Reanimation kann es hilfreich sein, klinische Faktoren, die Effektivität der Reanimationsmaßnahmen und die Ansichten der Teammitglieder zu berücksichtigen [370].

Wenn ein Neugeborenes trotz korrekt durchgeführter Reanimationsmaßnahmen und unter Ausschluss reversibler Ursachen auch 20 min nach der Geburt keinen Spontankreislauf zeigt, kann es angemessen sein, eine Reanimation zu beenden (schwache Empfehlung, sehr schwacher Evidenzgrad) [1].

Die Entscheidung, eine Reanimation zu beenden, ist prinzipiell eine medizinische Entscheidung. Die Familie soll während der Reanimation nach Möglichkeit engmaschig informiert werden

und, wenn dies wahrscheinlich erscheint, auch über ein mögliches Versterben des Kindes trotz der durchgeführten Reanimationsmaßnahmen aufgeklärt werden. Bei extremen Frühgeborenen sind längere Reanimationen mit geringeren Überlebensraten und einer höheren Morbidität verbunden. Die Entscheidung zum Abbruch einer Reanimation soll hier individuell getroffen werden [371, 372].

Verzicht auf Reanimationsmaßnahmen

In Situationen, in denen bei den überlebenden Neugeborenen eine extrem hohe Wahrscheinlichkeit für eine hohe Mortalität und schwere Morbidität angenommen werden muss, kann es sinnvoll sein, Reanimationsmaßnahmen nicht zu beginnen, insbesondere wenn im Vorfeld die Möglichkeit besteht, die Sichtweisen der Eltern diesbezüglich zu hören. Dies kann z. B. für extrem unreife Frühgeborene (Gestationsalter unter 22 Wochen und/oder Geburtsgewicht unter 350 g) [373] und für komplexe Fehlbildungen, wie z. B. eine Anecephalie oder eine bilaterale Nierenagenese, zutreffen.

Der Verzicht auf Reanimationsmaßnahmen oder das Beenden lebenserhaltender Maßnahmen während der Reanimation oder im weiteren Verlauf wird allgemein als ethisch gleichwertig angesehen. Verantwortliches medizinisches Personal soll daher nicht zögern, die Fortführung einer lebenserhaltenden Therapie zu beenden, wenn diese nicht im besten Interesse des Kindes ist [373]. Entscheidungen, eine Reanimation abbrechen oder nicht durchzuführen, sollen im Idealfall daher immer erfahrenes neonatologisches bzw. pädiatrisches Personal mit einbeziehen.

Einzelfallentscheidungen sollen im interdisziplinären geburtshilflichen-neonatologischen Team, unter Berücksichtigung der Sichtweisen der Eltern, plausibel und koordiniert getroffen werden. In Situationen mit geringer Überlebenswahrscheinlichkeit (<50%), relativ hoher Morbiditätsrate und einer hohen zu erwartenden gesundheitlichen Belastung für das Kind sollen die elterlichen Wünsche hinsichtlich einer Reanimation eingeholt und im Allgemeinen unterstützt werden [352].

Korrespondenzadresse

John Madar

Department of Neonatology, University Hospitals Plymouth
Plymouth, Großbritannien
Jens.Schwindt@neugeborenenreanimation.at

Korrespondierender Übersetzer

Dr. Jens Christian Schwindt
Austrian Resuscitation Council
Graz, Österreich
Jens.Schwindt@neugeborenenreanimation.at

Danksagung. Die Übersetzung dieses Kapitels wurde von Dr. med. Beate Grass, Dr. med. Stefan Schäfer, Dr. Ulrich Kreth sowie Dr. Jens Christian Schwindt geleistet.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. C.C. Roehr declares speaker honorarium from Chiesi and funding from the National Institute for Health Research. J. Madar declares occasional advice to Laerdal Medical and Brayden on Newborn Resuscitation Equipment. H. Erdsda declares research funding for Safer Births project from Laerdal foundation, Governmental, World Bank, Global Financing Facility and Laerdal Global Health. C. Morley declares honorarium from Dräger and Chiesi, and his role of consultant for Fisher and Paykel and Laerdal. T. Szczapa declares educational funding from GE and Chiesi. C. Skäre declares funding from Government and ZOLL foundation. A. te Pas is science advisor for CONCORD neonatal; he is patent holder of the Concord resuscitation table. M. Rüdiger declares his role of consultant for surfactant study Chiesi. J.P. Wyllie declares NIH grant as coapplicant for "Baby-OSCAR" project. S. Ainsworth, D. Trevisanuto, B. Urlesberger and D. Wilkinson declare that they have no competing interests. [Stand 10. Mai, Originalartikel in Resuscitation]

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

Verwendete Literatur

1. Wyckoff MH, Wyllie J, Aziz K et al (2020) Neonatal life support 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A156–A187. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.09.015>
2. Perkins GD, Graesner JT, Semeraro F et al (2021) European Resuscitation Council guidelines 2021—executive summary. *Resuscitation* 161:1–60. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.003>
3. Nolan JP, Monsieurs KG, Bossaert L et al (2020) European Resuscitation Council COVID-19 guidelines executive summary. *Resuscitation* 153:45–55.

<https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.06.001>

4. Perkins GD, Morley PT, Nolan JP et al (2020) International Liaison Committee on Resuscitation: COVID-19 consensus on science, treatment recommendations and task force insights. *Resuscitation* 151:145–147. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.04.035>
5. Couper K, Taylor-Phillips S, Grove A et al (2020) COVID-19 in cardiac arrest and infection risk to rescuers: a systematic review. *Resuscitation* 151:59–66. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.04.022>
6. Nolan JP, Sandroni C, Böttiger BW et al (2021) Postreanimationsbehandlung. Leitlinien des European Resuscitation Council und der European Society of Intensive Care Medicine 2021. *Notfall Rettungsmed*. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00892-y>
7. Dawson JA, Kamlin CO, Vento M et al (2010) Defining the reference range for oxygen saturation for infants after birth. *Pediatrics* 125(6):e1340–e1347. <https://doi.org/10.1542/peds.2009-1510>
8. te Pas AB, Davis PG, Hooper SB, Morley CJ (2008) From liquid to air: breathing after birth. *J Pediatr* 152(5):607–611. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2007.10.041>
9. Hooper SB, Polglase GR, Roehr CC (2015) Cardiopulmonary changes with aeration of the newborn lung. *Paediatr Respir Rev* 16(3):147–150. <https://doi.org/10.1016/j.prrv.2015.03.003>
10. Dekker J, van Kaam AH, Roehr CC et al (2019) Stimulating and maintaining spontaneous breathing during transition of preterm infants. *Pediatr Res*. <https://doi.org/10.1038/s41390-019-0468-7>
11. Hooper SB, Siew ML, Kitchen MJ, te Pas AB (2013) Establishing functional residual capacity in the non-breathing infant. *Semin Fetal Neonatal Med* 18(6):336–343. <https://doi.org/10.1016/j.siny.2013.08.011>
12. Erdsdal HL, Mduma E, Svensen E, Perlman JM (2012) Early initiation of basic resuscitation interventions including face mask ventilation may reduce birth asphyxia related mortality in low-income countries: a prospective descriptive observational study. *Resuscitation* 83(7):869–873. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2011.12.011>
13. Perlman JM, Risser R (1995) Cardiopulmonary resuscitation in the delivery room: associated clinical events. *Arch Pediatr Adolesc Med* 149(1):20–25
14. Barber CA, Wyckoff MH (2006) Use and efficacy of endotracheal versus intravenous epinephrine during neonatal cardiopulmonary resuscitation in the delivery room. *Pediatrics* 118(3):1028–1034. <https://doi.org/10.1542/peds.2006-0416>
15. Halling C, Sparks JE, Christie L, Wyckoff MH (2017) Efficacy of intravenous and endotracheal epinephrine during neonatal cardiopulmonary resuscitation in the delivery room. *J Pediatr* 185:232–236. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2017.02.024>
16. Bjorland PA, Øymar K, Erdsdal HL, Rettedal SI (2019) Incidence of newborn resuscitative interventions at birth and short-term outcomes: a regional population-based study. *BMJ Paediatr Open* 3(1):e592. <https://doi.org/10.1136/bmjpo-2019-000592>
17. Skare C, Bolding AM, Kramer-Johansen J et al (2018) Video performance-debriefings and ventilation-refreshers improve quality of neonatal resuscitation. *Resuscitation* 132:140–146. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.07.013>
18. Niles DE, Cines C, Insley E et al (2017) Incidence and characteristics of positive pressure ventilation

- delivered to newborns in a US tertiary academic hospital. *Resuscitation* 115:102–109. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.03.035>
19. Aziz K, Chadwick M, Baker M, Andrews W (2008) Ante- and intra-partum factors that predict increased need for neonatal resuscitation. *Resuscitation* 79(3):444–452. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2008.08.004>
 20. Annibale DJ, Hulsey TC, Wagner CL, Southgate WM (1995) Comparative neonatal morbidity of abdominal and vaginal deliveries after uncomplicated pregnancies. *Arch Pediatr Adolesc Med* 149(8):862–867
 21. Liljestrom L, Wikstrom AK, Agren J, Jonsson M (2018) Antepartum risk factors for moderate to severe neonatal hypoxic ischemic encephalopathy: a Swedish national cohort study. *Acta Obstet Gynecol Scand* 97(5):615–623. <https://doi.org/10.1111/aogs.13316>
 22. Lee J, Lee JH (2019) A clinical scoring system to predict the need for extensive resuscitation at birth in very low birth weight infants. *BMC Pediatr* 19(1):197. <https://doi.org/10.1186/s12887-019-1573-9>
 23. Londero AP, Rossetti E, Pittini C, Cagnacci A, Driul L (2019) Maternal age and the risk of adverse pregnancy outcomes: a retrospective cohort study. *BMC Pregnancy Childbirth* 19(1):261. <https://doi.org/10.1186/s12884-019-2400-x>
 24. Bajaj M, Natarajan G, Shankaran S et al (2018) Delivery room resuscitation and short-term outcomes in moderately preterm infants. *J Pediatr* 195:33–38.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2017.11.039>
 25. Yangthara B, Horrasith S, Paes B, Kitsommart R (2020) Predictive factors for intensive birth resuscitation in a developing-country: a 5-year, single-center study. *J Matern Fetal Neonatal Med* 33(4):570–576. <https://doi.org/10.1080/14767058.2018.1497602>
 26. Berazategui JP, Aguilar A, Escobedo M et al (2017) Risk factors for advanced resuscitation in term and near-term infants: a case-control study. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 102(1):F44–F50. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2015-309525>
 27. Berhan Y, Haileamlak A (2016) The risks of planned vaginal breech delivery versus planned caesarean section for term breech birth: a meta-analysis including observational studies. *BJOG* 123(1):49–57. <https://doi.org/10.1111/1471-0528.13524>
 28. Foo XY, Greer RM, Kumar S (2016) Impact of maternal body mass index on intrapartum and neonatal outcomes in Brisbane, Australia, 2007 to 2013. *Birth* 43(4):358–365. <https://doi.org/10.1111/birt.12246>
 29. Parsons SJ, Sonneveld S, Nolan T (1998) Is a paediatrician needed at all Caesarean sections? *J Paediatr Child Health* 34(3):241–244
 30. Gordon A, McKechnie EJ, Jeffery H (2005) Pediatric presence at cesarean section: justified or not? *Am J Obstet Gynecol* 193(3 Pt 1):599–605. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2005.06.013>
 31. Bensouda B, Boucher J, Mandel R, Lachapelle J, Ali N (2018) 24/7 in house attending staff coverage improves neonatal short-term outcomes: a retrospective study. *Resuscitation* 122:25–28. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.11.045>
 32. Tu JH, Profit J, Melsop K et al (2017) Relationship of hospital staff coverage and delivery room resuscitation practices to birth asphyxia. *Am J Perinatol* 34(3):259–263. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1586505>
 33. Mitchell A, Niday P, Boulton J, Chance G, Dulberg C (2002) A prospective clinical audit of neonatal resuscitation practices in Canada. *Adv Neonatal Care* 2(6):316–326. <https://doi.org/10.1053/adnc.2002.36831>
 34. Skare C, Boldingh AM, Nakstad B et al (2016) Ventilation fraction during the first 30s of neonatal resuscitation. *Resuscitation* 107:25–30. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.07.231>
 35. Sawyer T, Lee HC, Aziz K (2018) Anticipation and preparation for every delivery room resuscitation. *Semin Fetal Neonatal Med* 23(5):312–320. <https://doi.org/10.1016/j.siny.2018.06.004>
 36. Wyllie J, Bruinenberg J, Roehr CC et al (2015) European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2015 section 7 resuscitation and support of transition of babies at birth. *Resuscitation* 95:248–262
 37. Rossi AC, Prefumo F (2018) Planned home versus planned hospital births in women at low-risk pregnancy: a systematic review with meta-analysis. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 222:102–108. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2018.01.016>
 38. Halamek LP, Cady RAH, Sterling MR (2019) Using briefing, simulation and debriefing to improve human and system performance. *Semin Perinatol* 43(8):151178. <https://doi.org/10.1053/j.semper.2019.08.007>
 39. Greif R, Bhanji F, Bigham BL et al (2020) Education, implementation, and teams: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A188–A239. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.09.014>
 40. Bennett SC, Finer N, Halamek LP et al (2016) Implementing delivery room checklists and communication standards in a multi-neonatal ICU quality improvement collaborative. *Jt Comm J Qual Patient Saf* 42(8):369–376. [https://doi.org/10.1016/s1553-7250\(16\)42052-0](https://doi.org/10.1016/s1553-7250(16)42052-0)
 41. Katheria A, Rich W, Finer N (2013) Development of a strategic process using checklists to facilitate team preparation and improve communication during neonatal resuscitation. *Resuscitation* 84(11):1552–1557. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2013.06.012>
 42. Lockey A, Lin Y, Cheng A (2018) Impact of adult advanced cardiac life support course participation on patient outcomes—a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 129:48–54. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.05.034>
 43. Huang J, Tang Y, Tang J et al (2019) Educational efficacy of high-fidelity simulation in neonatal resuscitation training: a systematic review and meta-analysis. *BMC Med Educ* 19(1):323. <https://doi.org/10.1186/s12909-019-1763-z>
 44. Rakshashbuvankar AA, Patole SK (2014) Benefits of simulation based training for neonatal resuscitation education: a systematic review. *Resuscitation* 85(10):1320–1323. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.07.005>
 45. Patel A, Khatib MN, Kurhe K, Bhargava S, Bang A (2017) Impact of neonatal resuscitation trainings on neonatal and perinatal mortality: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Paediatr Open* 1(1):e183. <https://doi.org/10.1136/bmjpo-2017-000183>
 46. Yeung J, Djarv T, Hsieh MJ et al (2020) Spaced learning versus massed learning in resuscitation—a systematic review. *Resuscitation* 156:61–71. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.08.132>
 47. Mosley CM, Shaw BN (2013) A longitudinal cohort study to investigate the retention of knowledge and skills following attendance on the newborn life support course. *Arch Dis Child* 98(8):582–586. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2012-303263>
 48. Mduma E, Ersdal H, Svensen E, Kidanto H, Auestad B, Perlman J (2015) Frequent brief on-site simulation training and reduction in 24-h neonatal mortality—an educational intervention study. *Resuscitation* 93:1–7. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.04.019>
 49. Yamada NK, Yaeger KA, Halamek LP (2015) Analysis and classification of errors made by teams during neonatal resuscitation. *Resuscitation* 96:109–113. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.07.048>
 50. Finn JC, Bhanji F, Lockey A et al (2015) Part 8: education, implementation, and teams: 2015 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 95:e203–e224. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.07.046>
 51. Wyllie J, Perlman JM, Kattwinkel J et al (2015) Part 7: neonatal resuscitation: 2015 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 95:e169–e201. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.07.045>
 52. Dempsey E, Pammi M, Ryan AC, Barrington KJ (2015) Standardised formal resuscitation training programmes for reducing mortality and morbidity in newborn infants. *Cochrane Database Syst Rev* 9:CD9106. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009106.pub2>
 53. Thomas EJ, Taggart B, Crandell S et al (2007) Teaching teamwork during the Neonatal Resuscitation Program: a randomized trial. *J Perinatol* 27(7):409–414. <https://doi.org/10.1038/sj.jp.7211771>
 54. Thomas EJ, Williams AL, Reichman EF, Lasky RE, Crandell S, Taggart WR (2010) Team training in the neonatal resuscitation program for interns: teamwork and quality of resuscitations. *Pediatrics* 125(3):539–546. <https://doi.org/10.1542/peds.2009-1635>
 55. Nadler I, Sanderson PM, Van Dyken CR, Davis PG, Liley HG (2011) Presenting video recordings of newborn resuscitations in debriefings for teamwork training. *BMJ Qual Saf* 20(2):163–169. <https://doi.org/10.1136/bmjqs.2010.043547>
 56. Rovamo L, Nurmi E, Mattila MM, Suominen P, Silvennoinen M (2015) Effect of a simulation-based workshop on multidisciplinary teamwork of newborn emergencies: an intervention study. *BMC Res Notes* 8:671. <https://doi.org/10.1186/s13104-015-1654-2>
 57. Rosen MA, DiazGranados D, Dietz AS et al (2018) Teamwork in healthcare: key discoveries enabling safer, high-quality care. *Am Psychol* 73(4):433–450. <https://doi.org/10.1037/amp0000298>
 58. Soar J, Monsieurs KG, Ballance JH et al (2010) European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2010 section 9. Principles of education in resuscitation. *Resuscitation* 81(10):1434–1444. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2010.08.014>
 59. Mundell WC, Kennedy CC, Szostek JH, Cook DA (2013) Simulation technology for resuscitation training: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 84(9):1174–1183. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2013.04.016>

60. Levett-Jones T, Lapkin S (2014) A systematic review of the effectiveness of simulation debriefing in health professional education. *Nurse Educ Today* 34(6):e58–e63. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2013.09.020>
61. Garden AL, LeFevre DM, Waddington HL, Weller JM (2015) Debriefing after simulation-based non-technical skill training in healthcare: a systematic review of effective practice. *Anaesth Intensive Care* 43(3):300–308. <https://doi.org/10.1177/0310057X1504300303>
62. Greif R, Lockey AS, Conaghan P, Lippert A, De Vries W, Monsieurs KG (2015) European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2015 section 10: principles of education in resuscitation. *Resuscitation* 95:287–300
63. Mazza A, Cavallin F, Cappellari A et al (2017) Effect of a short training on neonatal face-mask ventilation performance in a low resource setting. *PLoS One* 12(10):e186731. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186731>
64. O'Curraín E, Thio M, Dawson JA, Donath SM, Davis PG (2019) Respiratory monitors to teach newborn facemask ventilation: a randomised trial. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 104(6):F582–F586. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2018-316118>
65. Ghoman SK, Patel SD, Cutumisu M et al (2020) Serious games, a game changer in teaching neonatal resuscitation? A review. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 105(1):98–107. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2019-317011>
66. Schmolzer GM, Morley CJ, Kamlin O (2019) Enhanced monitoring during neonatal resuscitation. *Semin Perinatol* 43(8):1511–1517. <https://doi.org/10.1053/j.semperi.2019.08.006>
67. van Vonderen JJ, van Zanten HA, Schilleman K et al (2016) Cardiorespiratory monitoring during neonatal resuscitation for direct feedback and audit. *Front Pediatr* 4:38. <https://doi.org/10.3389/fped.2016.00038>
68. Edelson DP, Litzinger B, Arora V et al (2008) Improving in-hospital cardiac arrest process and outcomes with performance debriefing. *Arch Intern Med* 168(10):1063–1069. <https://doi.org/10.1001/archinte.168.10.1063>
69. Wolfe H, Zebuhr C, Topjian AA et al (2014) Interdisciplinary ICU cardiac arrest debriefing improves survival outcomes. *Crit Care Med* 42(7):1688–1695. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000327>
70. Couper K, Kimani PK, Davies RP et al (2016) An evaluation of three methods of in-hospital cardiac arrest educational debriefing: the cardiopulmonary resuscitation debriefing study. *Resuscitation* 105:130–137. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.05.005>
71. Bleijenberg E, Koster RW, de Vries H, Beesems SG (2017) The impact of post-resuscitation feedback for paramedics on the quality of cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 110:1–5. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.08.034>
72. Morley CJ (2018) Monitoring neonatal resuscitation: Why is it needed? *Neonatology* 113(4):387–392. <https://doi.org/10.1159/000487614>
73. Skare C, Calisch TE, Saeter E et al (2018) Implementation and effectiveness of a video-based debriefing programme for neonatal resuscitation. *Acta Anaesthesiol Scand* 62(3):394–403. <https://doi.org/10.1111/aas.13050>
74. Trevisanuto D, Testoni D, de Almeida MFB (2018) Maintaining normothermia: why and how? *Semin Fetal Neonatal Med* 23(5):333–339. <https://doi.org/10.1016/j.siny.2018.03.009>
75. Chitty H, Wyllie J (2013) Importance of maintaining the newly born temperature in the normal range from delivery to admission. *Semin Fetal Neonatal Med* 18(6):362–368. <https://doi.org/10.1016/j.siny.2013.08.002>
76. Javaudin F, Hamel V, Legrand A et al (2019) Unplanned out-of-hospital birth and risk factors of adverse perinatal outcome: findings from a prospective cohort. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 27(1):26. <https://doi.org/10.1186/s13049-019-0600-z>
77. McCall EM, Alderdice F, Halliday HL, Vohra S, Johnston L (2018) Interventions to prevent hypothermia at birth in preterm and/or low birth weight infants. *Cochrane Database Syst Rev* 2:CD4210. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004210.pub5>
78. Wilson E, Maier RF, Norman M et al (2016) Admission hypothermia in very preterm infants and neonatal mortality and morbidity. *J Pediatr* 175:61–67.e4. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2016.04.016>
79. Laptook AR, Salhab W, Bhaskar B, Neonatal Research Network (2007) Admission temperature of low birth weight infants: predictors and associated morbidities. *Pediatrics* 119(3):e643–e649. <https://doi.org/10.1542/peds.2006-0943>
80. Moore ER, Bergman N, Anderson GC, Medley N (2016) Early skin-to-skin contact for mothers and their healthy newborn infants. *Cochrane Database Syst Rev* 11:CD3519. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003519.pub4>
81. Linner A, Klemming S, Sundberg B et al (2020) Immediate skin-to-skin contact is feasible for very preterm infants but thermal control remains a challenge. *Acta Paediatr* 109(4):697–704. <https://doi.org/10.1111/apa.15062>
82. Linner A, Westrup B, Lode-Kolz K et al (2020) Immediate parent-infant skin-to-skin study (IPISTOSS): study protocol of a randomised controlled trial on very preterm infants cared for in skin-to-skin contact immediately after birth and potential physiological, epigenetic, psychological and neurodevelopmental consequences. *BMJ Open* 10(7):e38938. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-038938>
83. Manani M, Jegatheesan P, DeSandre G, Song D, Showalter L, Govindaswami B (2013) Elimination of admission hypothermia in preterm very low-birth-weight infants by standardization of delivery room management. *Perm J* 17(3):8–13. <https://doi.org/10.7812/TPP/12-130>
84. Belsches TC, Tilly AE, Miller TR et al (2013) Randomized trial of plastic bags to prevent term neonatal hypothermia in a resource-poor setting. *Pediatrics* 132(3):e656–e661. <https://doi.org/10.1542/peds.2013-0172>
85. Lieberman E, Eichenwald E, Mathur G, Richardson D, Heffner L, Cohen A (2000) Intrapartum fever and unexplained seizures in term infants. *Pediatrics* 106(5):983–988
86. Grether JK, Nelson KB (1997) Maternal infection and cerebral palsy in infants of normal birth weight. *JAMA* 278(3):207–211
87. Kasdorf E, Perlman JM (2013) Hyperthermia, inflammation, and perinatal brain injury. *Pediatr Neurol* 49(1):8–14. <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2012.12.026>
88. te Pas AB, Lopriore E, Dito I, Morley CJ, Walther FJ (2010) Humidified and heated air during stabilization at birth improves temperature in preterm infants. *Pediatrics* 125(6):e1427–e1432. <https://doi.org/10.1542/peds.2009-2656>
89. Meyer MP, Owen LS, te Pas AB (2018) Use of heated humidified gases for early stabilization of preterm infants: a meta-analysis. *Front Pediatr* 6:319. <https://doi.org/10.3389/fped.2018.00319>
90. McGrory L, Owen LS, Thio M et al (2018) A randomized trial of conditioned or unconditioned gases for stabilizing preterm infants at birth. *J Pediatr* 193:47–53. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2017.09.006>
91. DeMauro SB, Douglas E, Karp K et al (2013) Improving delivery room management for very preterm infants. *Pediatrics* 132(4):e1018–e1025. <https://doi.org/10.1542/peds.2013-0686>
92. Seidler T (2021) Umbilical Cord management at preterm birth (< 34 weeks): systematic review and meta-analysis. *Pediatrics* 147(3):e20200576. <https://doi.org/10.1542/peds.2020-0576>
93. Gomersall CD (2021) Umbilical cord management at term and late preterm birth: a systematic review and meta-analysis. *Pediatrics* 147(3):e2020015404. <https://doi.org/10.1542/peds.2020-015404>
94. Hooper SB, te Pas AB, Lang J et al (2015) Cardiovascular transition at birth: a physiological sequence. *Pediatr Res* 77(5):608–614. <https://doi.org/10.1038/pr.2015.21>
95. Hooper SB, Binder-Heschl C, Polglase GR et al (2016) The timing of umbilical cord clamping at birth: physiological considerations. *Matern Health Neonatol Perinatol* 2:4. <https://doi.org/10.1186/s40748-016-0032-y>
96. Bhatt S, Alison BJ, Wallace EM et al (2013) Delaying cord clamping until ventilation onset improves cardiovascular function at birth in preterm lambs. *J Physiol* 591(8):2113–2126. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.250084>
97. Polglase GR, Dawson JA, Kluckow M et al (2015) Ventilation onset prior to umbilical cord clamping (physiological-based cord clamping) improves systemic and cerebral oxygenation in preterm lambs. *PLoS One* 10(2):e117504. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117504>
98. Peltonen T (1981) Neonatal transfusion—advantage an disadvantage. *Eur J Pediatr* 137(2):141–146
99. Brady JP, James LS (1962) Heart rate changes in the fetus and newborn infant during labor, delivery, and the immediate neonatal period. *Am J Obstet Gynecol* 84:1–12
100. Farrar D, Airey R, Law GR, Tuffnell D, Cattle B, Duley L (2011) Measuring placental transfusion for term births: weighing babies with cord intact. *BJOG* 118(1):70–75. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.2010.02781.x>
101. Strauss RG, Mock DM, Johnson KJ et al (2008) A randomized clinical trial comparing immediate versus delayed clamping of the umbilical cord in preterm infants: short-term clinical and laboratory endpoints. *Transfusion* 48(4):658–665. <https://doi.org/10.1111/j.1537-2995.2007.01589.x>
102. Rabe H, Reynolds G, Diaz-Rossello J (2008) A systematic review and meta-analysis of a brief delay in clamping the umbilical cord of preterm infants. *Neonatology* 93(2):138–144. <https://doi.org/10.1159/000108764>
103. Vain NE, Satragno DS, Gorenstein AN et al (2014) Effect of gravity on volume of placental transfusion: a multicentre, randomised, non-inferiority trial. *Lancet* 384(9939):235–240. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)60197-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)60197-5)
104. Hooper SB, Crossley KJ, Zahra VA et al (2017) Effect of body position and ventilation on umbilical

- artery and venous blood flows during delayed umbilical cord clamping in preterm lambs. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 102(4):F312–F319. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2016-311159>
105. McDonald SJ, Middleton P, Dowswell T, Morris PS (2013) Effect of timing of umbilical cord clamping of term infants on maternal and neonatal outcomes. *Cochrane Database Syst Rev* 7:CD4074. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004074.pub3>
 106. Hooper SB, Polglase GR, te Pas AB (2015) A physiological approach to the timing of umbilical cord clamping at birth. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 100(4):F355–F360. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2013-305703>
 107. Erdsdal HL, Linde J, Mduma E, Auestad B, Perlman J (2014) Neonatal outcome following cord clamping after onset of spontaneous respiration. *Pediatrics* 134(2):265–272. <https://doi.org/10.1542/peds.2014-0467>
 108. Brouwer E, Knol R, Vernooij ASN et al (2019) Physiological-based cord clamping in preterm infants using a new purpose-built resuscitation table: a feasibility study. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 104(4):F396–F402. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2018-315483>
 109. Katheria AC, Brown MK, Faksh A et al (2017) Delayed cord clamping in newborns born at term at risk for resuscitation: a feasibility randomized clinical trial. *J Pediatr* 187:313–317.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2017.04.033>
 110. Duley L, Dorling J, Pushpa-Rajah A et al (2018) Randomised trial of cord clamping and initial stabilisation at very preterm birth. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 103(1):F6–F14. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2016-312567>
 111. Knol R, Brouwer E, van den Akker T et al (2020) Physiological-based cord clamping in very preterm infants—randomised controlled trial on effectiveness of stabilisation. *Resuscitation* 147:26–33. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.12.007>
 112. McAdams RM, Fay E, Delaney S (2018) Whole blood volumes associated with milking intact and cut umbilical cords in term newborns. *J Perinatol* 38(3):245–250. <https://doi.org/10.1038/s41372-017-0002-x>
 113. Upadhyay A, Gothwal S, Parihar R et al (2013) Effect of umbilical cord milking in term and near term infants: randomized control trial. *Am J Obstet Gynecol* 208(2):120.e1–120.e6. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2012.10.884>
 114. Katheria A, Reister F, Essers J et al (2019) Association of umbilical cord milking vs delayed umbilical cord clamping with death or severe intraventricular hemorrhage among preterm infants. *JAMA* 322(19):1877–1886. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.16004>
 115. Apgar V (1953) A proposal for a new method of evaluation of the newborn infant. *Curr Res Anesth Analg* 32(4):260–267
 116. Baik-Schneditz N, Urlesberger B, Schwaberg B et al (2018) Tactile stimulation during neonatal transition and its effect on vital parameters in neonates during neonatal transition. *Acta Paediatr* 107(6):952–957. <https://doi.org/10.1111/apa.14239>
 117. Dekker J, Martherus T, Cramer SJE, van Zanten HA, Hooper SB, te Pas AB (2017) Tactile stimulation to stimulate spontaneous breathing during stabilization of preterm infants at birth: a retrospective analysis. *Front Pediatr* 5:61. <https://doi.org/10.3389/fped.2017.00061>
 118. Pietravalle A, Cavallin F, Opocher A et al (2018) Neonatal tactile stimulation at birth in a low-resource setting. *BMC Pediatr* 18(1):306. <https://doi.org/10.1186/s12887-018-1279-4>
 119. van Henten TMA, Dekker J, te Pas AB, Zivanovic S, Hooper SB, Roehr CC (2019) Tactile stimulation in the delivery room: Do we practice what we preach? *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 104(6):F661–F662. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2018-316344>
 120. Gaertner VD, Flemmer SA, Lorenz L, Davis PG, Kamlin COF (2018) Physical stimulation of newborn infants in the delivery room. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 103(2):F132–F136. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2016-312311>
 121. Dekker J, Hooper SB, Martherus T, Cramer SJE, van Geloven N, te Pas AB (2018) Repetitive versus standard tactile stimulation of preterm infants at birth—a randomized controlled trial. *Resuscitation* 127:37–43. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.03.030>
 122. Msemo G, Massawe A, Mmbando D et al (2013) Newborn mortality and fresh stillbirth rates in Tanzania after helping babies breathe training. *Pediatrics* 131(2):e353–e360. <https://doi.org/10.1542/peds.2012-1795>
 123. van Vonderen JJ, Roest AA, Siew ML, Walther FJ, Hooper SB, te Pas AB (2014) Measuring physiological changes during the transition to life after birth. *Neonatology* 105(3):230–242. <https://doi.org/10.1159/000356704>
 124. O'Donnell CP, Kamlin CO, Davis PG, Carlin JB, Morley CJ (2007) Clinical assessment of infant colour at delivery. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 92(6):F465–F467. <https://doi.org/10.1136/adc.2007.120634>
 125. Ashish KC, Lawn JE, Zhou H et al (2020) Not crying after birth as a predictor of not breathing. *Pediatrics* 145(6):e20192719. <https://doi.org/10.1542/peds.2019-2719>
 126. Schilleman K, van der Pot CJ, Hooper SB, Lopriore E, Walther FJ, te Pas AB (2013) Evaluating manual inflations and breathing during mask ventilation in preterm infants at birth. *J Pediatr* 162(3):457–463. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2012.09.036>
 127. O'Donnell CP, Kamlin CO, Davis PG, Morley CJ (2010) Crying and breathing by extremely preterm infants immediately after birth. *J Pediatr* 156(5):846–847. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2010.01.007>
 128. Linde JE, Perlman JM, Oymar K et al (2018) Predictors of 24-h outcome in newborns in need of positive pressure ventilation at birth. *Resuscitation* 129:1–5. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.05.026>
 129. Linde JE, Schulz J, Perlman JM et al (2017) The relation between given volume and heart rate during newborn resuscitation. *Resuscitation* 117:80–86. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.06.007>
 130. Linde JE, Schulz J, Perlman JM et al (2016) Normal newborn heart rate in the first five minutes of life assessed by dry-electrode electrocardiography. *Neonatology* 110(3):231–237. <https://doi.org/10.1159/000445930>
 131. Saugstad OD (2011) New guidelines for newborn resuscitation—a critical evaluation. *Acta Paediatr* 100(8):1058–1062. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.2011.02301.x>
 132. Eilevstjonn J, Linde JE, Blacy L, Kidanto H, Erdsdal HL (2020) Distribution of heart rate and responses to resuscitation among 1237 apnoeic newborns at birth. *Resuscitation* 152:69–76. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.04.037>
 133. Yam CH, Dawson JA, Schmolzer GM, Morley CJ, Davis PG (2011) Heart rate changes during resuscitation of newly born infants < 30 weeks gestation: an observational study. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 96(2):F102–F107. <https://doi.org/10.1136/adc.2009.180950>
 134. Murphy MC, De Angelis L, McCarthy LK, O'Donnell CP (2018) Comparison of infant heart rate assessment by auscultation, ECG and oximetry in the delivery room. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 103(5):F490–F492. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2017-314367>
 135. Kamlin CO, O'Donnell CP, Everest NJ, Davis PG, Morley CJ (2006) Accuracy of clinical assessment of infant heart rate in the delivery room. *Resuscitation* 71(3):319–321. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2006.04.015>
 136. Owen CJ, Wyllie JP (2004) Determination of heart rate in the baby at birth. *Resuscitation* 60(2):213–217
 137. van Vonderen JJ, Hooper SB, Kroese JK et al (2015) Pulse oximetry measures a lower heart rate at birth compared with electrocardiography. *J Pediatr* 166(1):49–53. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2014.09.015>
 138. Kamlin CO, Dawson JA, O'Donnell CP et al (2008) Accuracy of pulse oximetry measurement of heart rate of newborn infants in the delivery room. *J Pediatr* 152(6):756–760. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2008.01.002>
 139. Katheria A, Rich W, Finer N (2012) Electrocardiogram provides a continuous heart rate faster than oximetry during neonatal resuscitation. *Pediatrics* 130(5):e1177–e1181. <https://doi.org/10.1542/peds.2012-0784>
 140. O'Donnell CP, Kamlin CO, Davis PG, Morley CJ (2005) Obtaining pulse oximetry data in neonates: a randomised crossover study of sensor application techniques. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 90(1):F84–F85. <https://doi.org/10.1136/adc.2004.058925>
 141. Louis D, Sundaram V, Kumar P (2014) Pulse oximeter sensor application during neonatal resuscitation: a randomized controlled trial. *Pediatrics* 133(3):476–482. <https://doi.org/10.1542/peds.2013-2175>
 142. Narayan IC, Smit M, van Zwet EW, Dawson JA, Blom NA, te Pas AB (2015) Low signal quality pulse oximetry measurements in newborn infants are reliable for oxygen saturation but underestimate heart rate. *Acta Paediatr* 104(4):e158–e163. <https://doi.org/10.1111/apa.12932>
 143. Johnson PA, Cheung PY, Lee TF, O'Reilly M, Schmolzer GM (2019) Novel technologies for heart rate assessment during neonatal resuscitation at birth—a systematic review. *Resuscitation* 143:196–207. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.07.018>
 144. Anton O, Fernandez R, Rendon-Morales E, Aviles-Espinosa R, Jordan H, Rabe H (2019) Heart rate monitoring in newborn babies: a systematic review. *Neonatology* 116(3):199–210. <https://doi.org/10.1159/000499675>
 145. Katheria A, Arnell K, Brown M et al (2017) A pilot randomized controlled trial of EKG for neonatal resuscitation. *PLoS One* 12(11):e187730. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187730>
 146. Perlman JM, Wyllie J, Kattwinkel J et al (2015) Part 7: neonatal resuscitation: 2015 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Circulation* 132(16 Suppl 1):S204–S241. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000276>
 147. Luong D, Cheung PY, Barrington KJ et al (2019) Cardiac arrest with pulseless electrical activity rhythm in newborn infants: a case series. *Arch Dis*

- Child Fetal Neonatal Ed 104(6):F572–F574. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2018-316087>
148. Chua C, Schmolzer GM, Davis PG (2012) Airway manoeuvres to achieve upper airway patency during mask ventilation in newborn infants—an historical perspective. *Resuscitation* 83(4):411–416. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2011.11.007>
 149. Bhalala US, Hemani M, Shah M et al (2016) Defining optimal head-tilt position of resuscitation in neonates and young infants using magnetic resonance imaging data. *PLoS One* 11(3):e151789. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151789>
 150. von Ungern-Sternberg BS, Erb TO, Reber A, Frei FJ (2005) Opening the upper airway—airway maneuvers in pediatric anesthesia. *Paediatr Anaesth* 15(3):181–189. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9592.2004.01534.x>
 151. Rechner JA, Loach VJ, Ali MT, Barber VS, Young JD, Mason DG (2007) A comparison of the laryngeal mask airway with facemask and oropharyngeal airway for manual ventilation by critical care nurses in children. *Anaesthesia* 62(8):790–795. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.2007.05140.x>
 152. Kamlin COF, Schmolzer GM, Dawson JA et al (2019) A randomized trial of oropharyngeal airways to assist stabilization of preterm infants in the delivery room. *Resuscitation* 144:106–114. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.08.035>
 153. Abel F, Bajaj Y, Wyatt M, Wallis C (2012) The successful use of the nasopharyngeal airway in Pierre Robin sequence: an 11-year experience. *Arch Dis Child* 97(4):331–334. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2011-301134>
 154. Kamlin CO, Schilleman K, Dawson JA et al (2013) Mask versus nasal tube for stabilization of preterm infants at birth: a randomized controlled trial. *Pediatrics* 132(2):e381–e388. <https://doi.org/10.1542/peds.2013-0361>
 155. Crawshaw JR, Kitchen MJ, Binder-Heschl C et al (2018) Laryngeal closure impedes non-invasive ventilation at birth. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 103(2):F112–F119. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2017-312681>
 156. Schmolzer GM, Dawson JA, Kamlin CO, O'Donnell CP, Morley CJ, Davis PG (2011) Airway obstruction and gas leak during mask ventilation of preterm infants in the delivery room. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 96(4):F254–F257. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2010.191171>
 157. Bancalari A, Diaz V, Arana H (2019) Effects of pharyngeal suction on the arterial oxygen saturation and heart rate in healthy newborns delivered by elective cesarean section. *J Neonatal Perinatal Med* 12(3):271–276. <https://doi.org/10.3233/NPM-180137>
 158. Kelleher J, Bhat R, Salas AA et al (2013) Oronasopharyngeal suction versus wiping of the mouth and nose at birth: a randomised equivalency trial. *Lancet* 382(9889):326–330. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)60775-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)60775-8)
 159. Cordero L Jr, Hon EH (1971) Neonatal bradycardia following nasopharyngeal stimulation. *J Pediatr* 78(3):441–447
 160. Gungor S, Kurt E, Teksoz E, Goktolga U, Ceyhan T, Baser I (2006) Oronasopharyngeal suction versus no suction in normal and term infants delivered by elective cesarean section: a prospective randomized controlled trial. *Gynecol Obstet Invest* 61(1):9–14. <https://doi.org/10.1159/000087604>
 161. Modarres Nejad V, Hosseini R, Sarrafi Nejad A, Shafiee G (2014) Effect of oronasopharyngeal suction on arterial oxygen saturation in normal, term infants delivered vaginally: a prospective randomised controlled trial. *J Obstet Gynaecol* 34(5):400–402. <https://doi.org/10.3109/01443615.2014.897312>
 162. Zareen Z, Hawkes CP, Krickan ER, Dempsey EM, Ryan CA (2013) In vitro comparison of neonatal suction catheters using simulated 'pea soup' meconium. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 98(3):F241–F243. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2012-302495>
 163. Bent RC, Wiswell TE, Chang A (1992) Removing meconium from infant tracheae. What works best? *Am J Dis Child* 146(9):1085–1089
 164. Foster JP, Dawson JA, Davis PG, Dahlen HG (2017) Routine oro/nasopharyngeal suction versus no suction at birth. *Cochrane Database Syst Rev* 4:CD10332. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010332.pub2>
 165. Wiswell TE, Gannon CM, Jacob J et al (2000) Delivery room management of the apparently vigorous meconium-stained neonate: results of the multicenter, international collaborative trial. *Pediatrics* 105(1 Pt 1):1–7
 166. Edwards EM, Lakshminrusimha S, Ehret DEY, Horbar JD (2019) NICU admissions for meconium aspiration syndrome before and after a National Resuscitation Program suctioning guideline change. *Children (Basel)* 6(5):68. <https://doi.org/10.3390/children6050068>
 167. Kalra VK, Lee HC, Sie L, Ratnasiri AW, Underwood MA, Lakshminrusimha S (2020) Change in neonatal resuscitation guidelines and trends in incidence of meconium aspiration syndrome in California. *J Perinatol* 40(1):46–55. <https://doi.org/10.1038/s41372-019-0529-0>
 168. Trevisanuto D, Strand ML, Kawakami MD et al (2020) Tracheal suctioning of meconium at birth for non-vigorous infants: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 149:117–126. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.01.038>
 169. Phattraprayoon N, Tangamornsuksan W, Ungtrakul T (2021) Outcomes of endotracheal suctioning in non-vigorous neonates born through meconium-stained amniotic fluid: a systematic review and meta-analysis. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 106(1):31–38. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2020-318941>
 170. Kumar A, Kumar P, Basu S (2019) Endotracheal suctioning for prevention of meconium aspiration syndrome: a randomized controlled trial. *Eur J Pediatr* 178(12):1825–1832. <https://doi.org/10.1007/s00431-019-03463-z>
 171. Oommen VI, Ramaswamy VV, Szydl E, Roehr CC (2020) Resuscitation of non-vigorous neonates born through meconium-stained amniotic fluid: post policy change impact analysis. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2020-319771>
 172. Dargaville PA, Copnell B, Mills JF et al (2013) Fluid recovery during lung lavage in meconium aspiration syndrome. *Acta Paediatr* 102(2):e90–e93. <https://doi.org/10.1111/apa.12070>
 173. Dargaville PA, Copnell B, Mills JF et al (2011) Randomized controlled trial of lung lavage with dilute surfactant for meconium aspiration syndrome. *J Pediatr* 158(3):383–389.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2010.08.044>
 174. Welsford M, Nishiyama C, Shortt C et al (2019) Room air for initiating term newborn resuscitation: a systematic review with meta-analysis. *Pediatrics* 143(1):e20181825. <https://doi.org/10.1542/peds.2018-1825>
 175. Vyas H, Milner AD, Hopkin IE, Boon AW (1981) Physiologic responses to prolonged and slow-rise inflation in the resuscitation of the asphyxiated newborn infant. *J Pediatr* 99(4):635–639
 176. Harris C, Bhat P, Murthy V, Milner AD, Greenough A (2016) The first breath during resuscitation of prematurely born infants. *Early Hum Dev* 100:7–10. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2016.05.009>
 177. Bhat P, Hunt K, Harris C, Murthy V, Milner AD, Greenough A (2017) Inflation pressures and times during initial resuscitation in preterm infants. *Pediatr Int* 59(8):906–910. <https://doi.org/10.1111/ped.13319>
 178. Vyas H, Field D, Milner AD, Hopkin IE (1986) Determinants of the first inspiratory volume and functional residual capacity at birth. *Pediatr Pulmonol* 2(4):189–193
 179. Boon AW, Milner AD, Hopkin IE (1979) Lung expansion, tidal exchange, and formation of the functional residual capacity during resuscitation of asphyxiated neonates. *J Pediatr* 95(6):1031–1036
 180. Erdsdal HL, Eilevstjonn J, Perlman J et al (2020) Establishment of functional residual capacity at birth: observational study of 821 neonatal resuscitations. *Resuscitation* 153:71–78. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.05.033>
 181. Hird MF, Greenough A, Gamsu HR (1991) Inflating pressures for effective resuscitation of preterm infants. *Early Hum Dev* 26(1):69–72
 182. Lamberska T, Luksova M, Smisek J, Vankova J, Plavka R (2016) Premature infants born at < 25 weeks of gestation may be compromised by currently recommended resuscitation techniques. *Acta Paediatr* 105(4):e142–e150. <https://doi.org/10.1111/apa.13178>
 183. Murthy V, D'Costa W, Shah R et al (2015) Prematurely born infants' response to resuscitation via an endotracheal tube or a face mask. *Early Hum Dev* 91(3):235–238. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2015.02.004>
 184. Kaufman J, Schmolzer GM, Kamlin CO, Davis PG (2013) Mask ventilation of preterm infants in the delivery room. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 98(5):F405–F410. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2012-303313>
 185. Foglia EE, te Pas AB (2018) Effective ventilation: the most critical intervention for successful delivery room resuscitation. *Semin Fetal Neonatal Med* 23(5):340–346. <https://doi.org/10.1016/j.siny.2018.04.001>
 186. Kuypers K, Lamberska T, Martherus T et al (2019) The effect of a face mask for respiratory support on breathing in preterm infants at birth. *Resuscitation* 144:178–184. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.08.043>
 187. O'Donnell CPF (2019) Face mask respiratory support for preterm infants: Takes their breath away? *Resuscitation* 144:189–190. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.09.017>
 188. Holte K, Erdsdal HL, Eilevstjonn J et al (2019) Predictors for expired CO₂ in neonatal bag-mask ventilation at birth: observational study. *BMJ Paediatr Open* 3(1):e544. <https://doi.org/10.1136/bmjpo-2019-000544>
 189. te Pas AB, Wong C, Kamlin CO, Dawson JA, Morley CJ, Davis PG (2009) Breathing patterns in preterm and term infants immediately after birth. *Pediatr Res* 65(3):352–356. <https://doi.org/10.1203/PDR.0b013e318193f117>
 190. Thallinger M, Erdsdal HL, Francis F et al (2017) Born not breathing: a randomised trial comparing two self-inflating bag-masks during newborn resuscitation in Tanzania. *Resuscitation* 116:66–72. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.04.012>
 191. Poulton DA, Schmolzer GM, Morley CJ, Davis PG (2011) Assessment of chest rise during mask

- ventilation of preterm infants in the delivery room. *Resuscitation* 82(2):175–179. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2010.10.012>
192. Wood FE, Morley CJ, Dawson JA et al (2008) Assessing the effectiveness of two round neonatal resuscitation masks: study 1. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 93(3):F235–F237. <https://doi.org/10.1136/adc.2007.117713>
 193. Wood FE, Morley CJ, Dawson JA et al (2008) Improved techniques reduce face mask leak during simulated neonatal resuscitation: study 2. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 93(3):F230–F234. <https://doi.org/10.1136/adc.2007.117788>
 194. Martherus T, Oberthuer A, Dekker J et al (2019) Supporting breathing of preterm infants at birth: a narrative review. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 104(1):F102–F107. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2018-314898>
 195. Tracy MB, Klimek J, Coughtrey H et al (2011) Mask leak in one-person mask ventilation compared to two-person in newborn infant manikin study. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 96(3):F195–F200. <https://doi.org/10.1136/adc.2009.169847>
 196. Soar J, Maconochie I, Wyckoff MH et al (2019) 2019 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 145:95–150. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.10.016>
 197. Klingenberg C, Sobotka KS, Ong T et al (2013) Effect of sustained inflation duration; resuscitation of near-term asphyxiated lambs. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 98(3):F222–F227. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2012-301787>
 198. te Pas AB, Siew M, Wallace MJ et al (2009) Effect of sustained inflation length on establishing functional residual capacity at birth in ventilated premature rabbits. *Pediatr Res* 66(3):295–300. <https://doi.org/10.1203/PDR.0b013e3181b1bca4>
 199. Bruschetti M, O'Donnell CP, Davis PG, Morley CJ, Moja L, Calevo MG (2020) Sustained versus standard inflations during neonatal resuscitation to prevent mortality and improve respiratory outcomes. *Cochrane Database Syst Rev* 3:CD4953. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004953.pub4>
 200. Kirpalani H, Ratcliffe SJ, Keszler M et al (2019) Effect of sustained inflations vs intermittent positive pressure ventilation on bronchopulmonary dysplasia or death among extremely preterm infants: the SAIL randomized clinical trial. *JAMA* 321(12):1165–1175. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.1660>
 201. Hunt KA, Ling R, White M et al (2019) Sustained inflations during delivery suite stabilisation in prematurely-born infants—a randomised trial. *Early Hum Dev* 130:17–21. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2019.01.005>
 202. Björklund LJ, Ingimarsson J, Curstedt T et al (1997) Manual ventilation with a few large breaths at birth compromises the therapeutic effect of subsequent surfactant replacement in immature lambs. *Pediatr Res* 42(3):348–355
 203. Ingimarsson J, Björklund LJ, Curstedt T et al (2004) Incomplete protection by prophylactic surfactant against the adverse effects of large lung inflations at birth in immature lambs. *Intensive Care Med* 30(7):1446–1453. <https://doi.org/10.1007/s00134-004-2227-3>
 204. Muscedere JG, Mullen JB, Gan K, Slutsky AS (1994) Tidal ventilation at low airway pressures can augment lung injury. *Am J Respir Crit Care Med* 149(5):1327–1334. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.149.5.8173774>
 205. Naik AS, Kallapur SG, Bachurski CJ et al (2001) Effects of ventilation with different positive end-expiratory pressures on cytokine expression in the preterm lamb lung. *Am J Respir Crit Care Med* 164(3):494–498. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.164.3.2010127>
 206. Polglase GR, Hillman NH, Pillow JJ et al (2008) Positive end-expiratory pressure and tidal volume during initial ventilation of preterm lambs. *Pediatr Res* 64(5):517–522. <https://doi.org/10.1203/PDR.0b013e3181841363>
 207. Probyn ME, Hooper SB, Dargaville PA et al (2004) Positive end expiratory pressure during resuscitation of premature lambs rapidly improves blood gases without adversely affecting arterial pressure. *Pediatr Res* 56(2):198–204
 208. te Pas AB, Siew M, Wallace MJ et al (2009) Establishing functional residual capacity at birth: the effect of sustained inflation and positive end-expiratory pressure in a preterm rabbit model. *Pediatr Res* 65(5):537–541. <https://doi.org/10.1203/PDR.0b013e31819da21b>
 209. Dawson JA, Schmolzer GM, Kamlin CO et al (2011) Oxygenation with T-piece versus self-inflating bag for ventilation of extremely preterm infants at birth: a randomized controlled trial. *J Pediatr* 158(6):912–918.e1–2. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2010.12.003>
 210. Szyld E, Aguilar A, Musante GA et al (2014) Comparison of devices for newborn ventilation in the delivery room. *J Pediatr* 165(2):234–239.e3. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2014.02.035>
 211. Thakur A, Saluja S, Modi M et al (2015) T-piece or self inflating bag for positive pressure ventilation during delivery room resuscitation: an RCT. *Resuscitation* 90:21–24. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.01.021>
 212. Guinsburg R, de Almeida MFB, de Castro JS et al (2018) T-piece versus self-inflating bag ventilation in preterm neonates at birth. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 103(1):F49–F55. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2016-312360>
 213. Subramaniam P, Ho JJ, Davis PG (2016) Prophylactic nasal continuous positive airway pressure for preventing morbidity and mortality in very preterm infants. *Cochrane Database Syst Rev* 6:CD1243. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001243.pub3>
 214. Schmolzer GM, Kumar M, Pichler G, Aziz K, O'Reilly M, Cheung PY (2013) Non-invasive versus invasive respiratory support in preterm infants at birth: systematic review and meta-analysis. *BMJ* 347:f5980. <https://doi.org/10.1136/bmj.f5980>
 215. Poets CF, Rüdiger M (2015) Mask CPAP during neonatal transition: too much of a good thing for some term infants? *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 100(5):F378–F379. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2015-308236>
 216. Claassen CC, Strand ML (2019) Understanding the risks and benefits of delivery room CPAP for term infants. *Pediatrics* 144(3):e20191720. <https://doi.org/10.1542/peds.2019-1720>
 217. Hishikawa K, Goishi K, Fujiwara T, Kaneshige M, Ito Y, Sago H (2015) Pulmonary air leak associated with CPAP at term birth resuscitation. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 100(5):F382–F387. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2014-307891>
 218. Clevenger L, Britton JR (2017) Delivery room continuous positive airway pressure and early pneumothorax in term newborn infants. *J Neonatal Perinatal Med* 10(2):157–161. <https://doi.org/10.3233/NPM-171694>
 219. Smithhart W, Wyckoff MH, Kapadia V et al (2019) Delivery room continuous positive airway pressure and pneumothorax. *Pediatrics* 144(3):e20190756. <https://doi.org/10.1542/peds.2019-0756>
 220. Cole AF, Rolbin SH, Hew EM, Pynn S (1979) An improved ventilator system for delivery-room management of the newborn. *Anesthesiology* 51(4):356–358
 221. Allwood AC, Madar RJ, Baumer JH, Readdy L, Wright D (2003) Changes in resuscitation practice at birth. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 88(5):F375–F379
 222. Hoskyns EW, Milner AD, Hopkin IE (1987) A simple method of face mask resuscitation at birth. *Arch Dis Child* 62(4):376–378
 223. Oddie S, Wyllie J, Scally A (2005) Use of self-inflating bags for neonatal resuscitation. *Resuscitation* 67(1):109–112. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2005.05.004>
 224. Ganga-Zandzou PS, Diependaele JF, Storme L et al (1996) Is Ambu ventilation of newborn infants a simple question of finger-touch? *Arch Pediatr* 3(12):1270–1272
 225. Kanter RK (1987) Evaluation of mask-bag ventilation in resuscitation of infants. *Am J Dis Child* 141(7):761–763. <https://doi.org/10.1001/archpedi.1987.04460070063025>
 226. Bennett S, Finer NN, Rich W, Vaucher Y (2005) A comparison of three neonatal resuscitation devices. *Resuscitation* 67(1):113–118. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2005.02.016>
 227. Kelm M, Proquitte H, Schmalisch G, Roehr CC (2009) Reliability of two common PEEP-generating devices used in neonatal resuscitation. *Klin Padiatr* 221(7):415–418. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1233493>
 228. Dawson JA, Gerber A, Kamlin CO, Davis PG, Morley CJ (2011) Providing PEEP during neonatal resuscitation: Which device is best? *J Paediatr Child Health* 47(10):698–703. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1754.2011.02036.x>
 229. O'Donnell CP, Davis PG, Lau R, Dargaville PA, Doyle LW, Morley CJ (2005) Neonatal resuscitation 2: an evaluation of manual ventilation devices and face masks. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 90(5):F392–F396. <https://doi.org/10.1136/adc.2004.064691>
 230. Tracy MB, Klimek J, Coughtrey H et al (2011) Ventilator-delivered mask ventilation compared with three standard methods of mask ventilation in a manikin model. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 96(3):F201–F205. <https://doi.org/10.1136/adc.2009.169730>
 231. Klingenberg C, Dawson JA, Gerber A, Kamlin CO, Davis PG, Morley CJ (2011) Sustained inflations: comparing three neonatal resuscitation devices. *Neonatology* 100(1):78–84. <https://doi.org/10.1159/000322983>
 232. Kattwinkel J, Stewart C, Walsh B, Gurka M, Paget-Brown A (2009) Responding to compliance changes in a lung model during manual ventilation: perhaps volume, rather than pressure, should be displayed. *Pediatrics* 123(3):e465–e470. <https://doi.org/10.1542/peds.2008-2012>
 233. Finer NN, Rich WD (2011) Unintentional variation in positive end expiratory pressure during resuscitation with a T-piece resuscitator. *Resuscitation* 82(6):717–719. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2011.02.017>
 234. te Pas AB, Schilleman K, Klein M, Witlox RS, Morley CJ, Walther FJ (2011) Low versus high gas flow rate for respiratory support of infants at birth: a manikin study. *Neonatology* 99(4):266–271. <https://doi.org/10.1159/000318663>
 235. Schmolzer GM, Bhatia R, Morley CJ, Davis PG (2010) Choice of flow meter determines pressures

- delivered on a T-piece neonatal resuscitator. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 95(5):F383. <https://doi.org/10.1136/adc.2009.179713>
236. Schilleman K, Schmolzer GM, Kamlin OC, Morley CJ, te Pas AB, Davis PG (2011) Changing gas flow during neonatal resuscitation: a manikin study. *Resuscitation* 82(7):920–924. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2011.02.029>
237. Hinder M, McEwan A, Drevhammer T, Donaldson S, Tracy MB (2019) T-piece resuscitators: How do they compare? *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 104(2):F122–F127. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2018-314860>
238. Roehr CC, Kelm M, Proquitte H, Schmalisch G (2010) Equipment and operator training denote manual ventilation performance in neonatal resuscitation. *Am J Perinatol* 27(9):753–758. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1254236>
239. Morley CJ, Dawson JA, Stewart MJ, Hussain F, Davis PG (2010) The effect of a PEEP valve on a Laerdal neonatal self-inflating resuscitation bag. *J Paediatr Child Health* 46(1–2):51–56. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1754.2009.01617.x>
240. Hartung JC, Schmolzer G, Schmalisch G, Roehr CC (2013) Repeated thermo-sterilisation further affects the reliability of positive end-expiratory pressure valves. *J Paediatr Child Health* 49(9):741–745. <https://doi.org/10.1111/jpc.12258>
241. Hartung JC, Wilitzki S, Thio-Luch M, te Pas AB, Schmalisch G, Roehr CC (2016) Reliability of single-use PEEP-valves attached to self-inflating bags during manual ventilation of neonates—an in vitro study. *PLoS One* 11(2):e150224. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150224>
242. Thio M, Dawson JA, Crossley KJ et al (2019) Delivery of positive end-expiratory pressure to preterm lambs using common resuscitation devices. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 104(1):F83–F88. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2017-314064>
243. Tracy MB, Halliday R, Tracy SK, Hinder MK (2019) Newborn self-inflating manual resuscitators: precision robotic testing of safety and reliability. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 104(4):F403–F408. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2018-315391>
244. Rafferty AR, Johnson L, Davis PG, Dawson JA, Thio M, Owen LS (2018) Neonatal mannequin comparison of the Upright self-inflating bag and a snap-fit mask versus standard resuscitators and masks: leak, applied load and tidal volumes. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 103(6):F562–F566. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2017-313701>
245. Narayanan I, Mendhi M, Bansil P, Coffey PS (2017) Evaluation of simulated ventilation techniques with the upright and conventional self-inflating neonatal resuscitators. *Respir Care* 62(11):1428–1436. <https://doi.org/10.4187/respcare.05328>
246. Gomo ØH, Eilevstjønn J, Holte K, Yeconia A, Kidanto H, Ersdal HL (2020) Delivery of positive end-expiratory pressure using self-inflating bags during newborn resuscitation is possible despite mask leak. *Neonatology* 117(3):341–348. <https://doi.org/10.1159/000507829>
247. Roehr CC, Davis PG, Weiner GM, Wyllie J, Wyckoff MH, Trevisanuto D (2020) T-piece resuscitator or self-inflating bag during neonatal resuscitation: a scoping review. *Pediatr Res*. <https://doi.org/10.1038/s41390-020-1005-4>
248. van Vonderen JJ, Kamlin CO, Dawson JA, Walther FJ, Davis PG, te Pas AB (2015) Mask versus nasal tube for stabilization of preterm infants at birth: respiratory function measurements. *J Pediatr* 167(1):81–85.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2015.04.003>
249. McCarthy LK, Twomey AR, Molloy EJ, Murphy JF, O'Donnell CP (2013) A randomized trial of nasal prong or face mask for respiratory support for preterm newborns. *Pediatrics* 132(2):e389–e395. <https://doi.org/10.1542/peds.2013-0446>
250. Bansal SC, Caoci S, Dempsey E, Trevisanuto D, Roehr CC (2018) The laryngeal mask airway and its use in neonatal resuscitation: a critical review of where we are in 2017/2018. *Neonatology* 113(2):152–161. <https://doi.org/10.1159/000481979>
251. Qureshi MJ, Kumar M (2018) Laryngeal mask airway versus bag-mask ventilation or endotracheal intubation for neonatal resuscitation. *Cochrane Database Syst Rev* 3:CD3314. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003314.pub3>
252. Leung C (2018) Optimal insertion depth for endotracheal tubes in extremely low-birth-weight infants. *Pediatr Crit Care Med* 19(4):328–331. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001492>
253. Uygur O, Öncel MY, Şimşek GK et al (2019) Is nasal septum-tragus length measurement appropriate for endotracheal tube intubation depth in neonates? A randomized controlled study. *Am J Perinatol*. <https://doi.org/10.1055/s-0039-3400982>
254. Kempley ST, Moreira JW, Petrone FL (2008) Endotracheal tube length for neonatal intubation. *Resuscitation* 77(3):369–373. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2008.02.002>
255. Shukla HK, Hendricks-Munoz KD, Atakent Y, Rappaport S (1997) Rapid estimation of insertional length of endotracheal intubation in newborn infants. *J Pediatr* 131(4):561–564. [https://doi.org/10.1016/s0022-3476\(97\)70062-3](https://doi.org/10.1016/s0022-3476(97)70062-3)
256. Thomas RE, Rao SC, Minutillo C, Hullett B, Bulsara MK (2018) Cuffed endotracheal tubes in infants less than 3 kg: a retrospective cohort study. *Paediatr Anaesth* 28(3):204–209. <https://doi.org/10.1111/pan.13311>
257. Fayoux P, Devisme L, Merrot O, Marciniak B (2006) Determination of endotracheal tube size in a perinatal population: an anatomical and experimental study. *Anesthesiology* 104(5):954–960. <https://doi.org/10.1097/0000542-200605000-00011>
258. Sherman JM, Nelson H (1989) Decreased incidence of subglottic stenosis using an “appropriate-sized” endotracheal tube in neonates. *Pediatr Pulmonol* 6(3):183–185. <https://doi.org/10.1002/ppul.1950060311>
259. Gill I, O'Donnell CP (2014) Vocal cord guides on neonatal endotracheal tubes. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 99(4):F344. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2014-306028>
260. Schmolzer GM, O'Reilly M, Davis PG, Cheung PY, Roehr CC (2013) Confirmation of correct tracheal tube placement in newborn infants. *Resuscitation* 84(6):731–737. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.11.028>
261. Aziz HF, Martin JB, Moore JJ (1999) The pediatric disposable end-tidal carbon dioxide detector role in endotracheal intubation in newborns. *J Perinatol* 19(2):110–113. <https://doi.org/10.1038/sj.jp.7200136>
262. Repetto JE, Donohue PK, Baker SF, Kelly L, Noguee LM (2001) Use of capnography in the delivery room for assessment of endotracheal tube placement. *J Perinatol* 21(5):284–287
263. Hosono S, Inami I, Fujita H, Minato M, Takahashi S, Mugishima H (2009) A role of end-tidal CO₂ monitoring for assessment of tracheal intubations in very low birth weight infants during neonatal resuscitation at birth. *J Perinat Med* 37(1):79–84. <https://doi.org/10.1515/JPM.2009.017>
264. Garey DM, Ward R, Rich W, Heldt G, Leone T, Finer NN (2008) Tidal volume threshold for colorimetric carbon dioxide detectors available for use in neonates. *Pediatrics* 121(6):e1524–e1527. <https://doi.org/10.1542/peds.2007-2708>
265. Sandroni C, De Santis P, D'Arrigo S (2018) Capnography during cardiac arrest. *Resuscitation* 132:73–77. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.08.018>
266. Hawkes GA, Finn D, Kenosi M et al (2017) A randomized controlled trial of end-tidal carbon dioxide detection of preterm infants in the delivery room. *J Pediatr* 182:74–78.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2016.11.006>
267. Scrivens A, Zivanovic S, Roehr CC (2019) Is waveform capnography reliable in neonates? *Arch Dis Child* 104(7):711–715. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2018-316577>
268. Mactier H, Jackson A, Davis J et al (2019) Paediatric intensive care and neonatal intensive care airway management in the United Kingdom: the PIC-NIC survey. *Anaesthesia* 74(1):116–117. <https://doi.org/10.1111/anae.14526>
269. van Os S, Cheung PY, Kushniruk K, O'Reilly M, Aziz K, Schmolzer GM (2016) Assessment of endotracheal tube placement in newborn infants: a randomized controlled trial. *J Perinatol* 36(5):370–375. <https://doi.org/10.1038/jp.2015.208>
270. Schmolzer GM, Morley CJ, Wong C et al (2012) Respiratory function monitor guidance of mask ventilation in the delivery room: a feasibility study. *J Pediatr* 160(3):377–381.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2011.09.017>
271. Leone TA, Lange A, Rich W, Finer NN (2006) Disposable colorimetric carbon dioxide detector use as an indicator of a patent airway during noninvasive mask ventilation. *Pediatrics* 118(1):e202–e204. <https://doi.org/10.1542/peds.2005-2493>
272. Kong JY, Rich W, Finer NN, Leone TA (2013) Quantitative end-tidal carbon dioxide monitoring in the delivery room: a randomized controlled trial. *J Pediatr* 163(1):104–108.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2012.12.016>
273. Lingappan K, Arnold JL, Fernandes CJ, Pammi M (2018) Videolaryngoscopy versus direct laryngoscopy for tracheal intubation in neonates. *Cochrane Database Syst Rev* 6:CD9975. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009975.pub3>
274. Oei JL, Kapadia V (2020) Oxygen for respiratory support of moderate and late preterm and term infants at birth: Is air best? *Semin Fetal Neonatal Med* 25(2):101074. <https://doi.org/10.1016/j.siny.2019.101074>
275. Davis PG, Tan A, O'Donnell CP, Schulze A (2004) Resuscitation of newborn infants with 100% oxygen or air: a systematic review and meta-analysis. *Lancet* 364(9442):1329–1333
276. Wyllie J, Perlman JM, Kattwinkel J et al (2010) Part 11: neonatal resuscitation: 2010 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 81(Suppl 1):e260–e287. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2010.08.029>
277. Vento M, Moro M, Escrig R et al (2009) Preterm resuscitation with low oxygen causes less oxidative stress, inflammation, and chronic lung disease. *Pediatrics* 124(3):e439–e449. <https://doi.org/10.1542/peds.2009-0434>
278. Mariani G, Dik PB, Ezquer A et al (2007) Pre-ductal and post-ductal O₂ saturation in healthy term

- neonates after birth. *J Pediatr* 150(4):418–421. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2006.12.015>
279. Welsford M, Nishiyama C, Shortt C et al (2019) Initial oxygen use for preterm newborn resuscitation: a systematic review with meta-analysis. *Pediatrics* 143(1):e20181828. <https://doi.org/10.1542/peds.2018-1828>
280. Dekker J, Hooper SB, Croughan MK et al (2019) Increasing respiratory effort with 100% oxygen during resuscitation of preterm rabbits at birth. *Front Pediatr* 7:427. <https://doi.org/10.3389/fped.2019.00427>
281. Dekker J, Martherus T, Lopriore E et al (2019) The effect of initial high vs. low FiO₂ on breathing effort in preterm infants at birth: a randomized controlled trial. *Front Pediatr* 7:504. <https://doi.org/10.3389/fped.2019.00504>
282. Sweet DG, Carnielli V, Greisen G et al (2019) European consensus guidelines on the management of respiratory distress syndrome—2019 update. *Neonatology* 115(4):432–450. <https://doi.org/10.1159/000499361>
283. Wyckoff MH, Aziz K, Escobedo MB et al (2015) Part 13: neonatal resuscitation: 2015 American Heart Association guidelines update for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation* 132(18 Suppl 2):S543–S560. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000267>
284. Oei JL, Finer NN, Saugstad OD et al (2018) Outcomes of oxygen saturation targeting during delivery room stabilisation of preterm infants. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 103(5):F446–F454. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2016-312366>
285. Goos TG, Rook D, van der Eijk AC et al (2013) Observing the resuscitation of very preterm infants: Are we able to follow the oxygen saturation targets? *Resuscitation* 84(8):1108–1113. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2013.01.025>
286. White LN, Thio M, Owen LS et al (2017) Achievement of saturation targets in preterm infants < 32 weeks' gestational age in the delivery room. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 102(5):F423–F427. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2015-310311>
287. Kapadia V, Oei JL (2020) Optimizing oxygen therapy for preterm infants at birth: Are we there yet? *Semin Fetal Neonatal Med* 25(2):101081. <https://doi.org/10.1016/j.siny.2020.101081>
288. Dekker J, Stenning FJ, Willms L, Martherus T, Hooper SB, te Pas AB (2019) Time to achieve desired fraction of inspired oxygen using a T-piece ventilator during resuscitation of preterm infants at birth. *Resuscitation* 136:100–104. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.01.024>
289. Huynh T, Hemway RJ, Perlman JM (2015) Assessment of effective face mask ventilation is compromised during synchronised chest compressions. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 100(1):F39–F42. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2014-306309>
290. Millin MG, Bogumil D, Fische JN, Burke RV (2020) Comparing the two-finger versus two-thumb technique for single person infant CPR: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 148:161–172. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.12.039>
291. Hourl PK, Frank LR, Menegazzi JJ, Taylor R (1997) A randomized, controlled trial of two-thumb vs two-finger chest compression in a swine infant model of cardiac arrest. *Prehosp Emerg Care* 1(2):65–67
292. David R (1988) Closed chest cardiac massage in the newborn infant. *Pediatrics* 81(4):552–554
293. Menegazzi JJ, Auble TE, Nicklas KA, Hosack GM, Rack L, Goode JS (1993) Two-thumb versus two-finger chest compression during CRP in a swine infant model of cardiac arrest. *Ann Emerg Med* 22(2):240–243
294. Whitelaw CC, Slywka B, Goldsmith LJ (2000) Comparison of a two-finger versus two-thumb method for chest compressions by healthcare providers in an infant mechanical model. *Resuscitation* 43(3):213–216
295. Udassi S, Udassi JP, Lamb MA et al (2010) Two-thumb technique is superior to two-finger technique during lone rescuer infant manikin CPR. *Resuscitation* 81(6):712–717. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2009.12.029>
296. Lim JS, Cho Y, Ryu S et al (2013) Comparison of overlapping (OP) and adjacent thumb positions (AP) for cardiac compressions using the encircling method in infants. *Emerg Med Clin North Am* 30(2):139–142. <https://doi.org/10.1136/emered-2011-200978>
297. Christman C, Hemway RJ, Wyckoff MH, Perlman JM (2011) The two-thumb is superior to the two-finger method for administering chest compressions in a manikin model of neonatal resuscitation. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 96(2):F99–F101. <https://doi.org/10.1136/adc.2009.180406>
298. Phillips GW, Zideman DA (1986) Relation of infant heart to sternum: its significance in cardiopulmonary resuscitation. *Lancet* 1(8488):1024–1025
299. Saini SS, Gupta N, Kumar P, Bhalla AK, Kaur H (2012) A comparison of two-fingers technique and two-thumbs encircling hands technique of chest compression in neonates. *J Perinatol* 32(9):690–694. <https://doi.org/10.1038/jp.2011.167>
300. You Y (2009) Optimum location for chest compressions during two-rescuer infant cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 80(12):1378–1381. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2009.08.013>
301. Meyer A, Nadkarni V, Pollock A et al (2010) Evaluation of the Neonatal Resuscitation Program's recommended chest compression depth using computerized tomography imaging. *Resuscitation* 81(5):544–548. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2010.01.032>
302. Cheung PY, Huang H, Xu C et al (2019) Comparing the quality of cardiopulmonary resuscitation performed at the over-the-head position and lateral position of neonatal manikin. *Front Pediatr* 7:559. <https://doi.org/10.3389/fped.2019.00559>
303. Douvanas A, Koulouglioti C, Kalafati M (2018) A comparison between the two methods of chest compression in infant and neonatal resuscitation. A review according to 2010 CPR guidelines. *J Matern Fetal Neonatal Med* 31(6):805–816. <https://doi.org/10.1080/14767058.2017.1295953>
304. Rodriguez-Ruiz E, Martinez-Puga A, Carballo-Fazanes A, Abelairas-Gómez C, Rodríguez-Nuñez A (2019) Two new chest compression methods might challenge the standard in a simulated infant model. *Eur J Pediatr* 178(10):1529–1535. <https://doi.org/10.1007/s00431-019-03452-2>
305. Berkowitz ID, Chantarojanasiri T, Koehler RC et al (1989) Blood flow during cardiopulmonary resuscitation with simultaneous compression and ventilation in infant pigs. *Pediatr Res* 26(6):558–564
306. Dean JM, Koehler RC, Schleien CL et al (1991) Improved blood flow during prolonged cardiopulmonary resuscitation with 30% duty cycle in infant pigs. *Circulation* 84(2):896–904
307. Linner R, Werner O, Perez-de-Sa V, Cunha-Goncalves D (2009) Circulatory recovery is as fast with air ventilation as with 100% oxygen after asphyxia-induced cardiac arrest in piglets. *Pediatr Res* 66(4):391–394. <https://doi.org/10.1203/PDR.0b013e3181b3b110>
308. Lipinski CA, Hicks SD, Callaway CW (1999) Normoxic ventilation during resuscitation and outcome from asphyxial cardiac arrest in rats. *Resuscitation* 42(3):221–229
309. Perez-de-Sa V, Cunha-Goncalves D, Nordh A et al (2009) High brain tissue oxygen tension during ventilation with 100% oxygen after fetal asphyxia in newborn sheep. *Pediatr Res* 65(1):57–61. <https://doi.org/10.1203/PDR.0b013e31818a01a4>
310. Solevag AL, Dannevig I, Nakstad B, Saugstad OD (2010) Resuscitation of severely asphycted newborn pigs with cardiac arrest by using 21% or 100% oxygen. *Neonatology* 98(1):64–72. <https://doi.org/10.1159/000275560>
311. Temesvari P, Karg E, Bodi I et al (2001) Impaired early neurologic outcome in newborn piglets reoxygenated with 100% oxygen compared with room air after pneumothorax-induced asphyxia. *Pediatr Res* 49(6):812–819. <https://doi.org/10.1203/00006450-200106000-00017>
312. Wilson KH, Tang M, Glumac A et al (2011) Normoxic versus hyperoxic resuscitation in pediatric asphyxial cardiac arrest: effects on oxidative stress. *Crit Care Med* 39(2):335–343. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3181ffda0e>
313. Yeh ST, Cawley RJ, Aune SE, Angelos MG (2009) Oxygen requirement during cardiopulmonary resuscitation (CPR) to effect return of spontaneous circulation. *Resuscitation* 80(8):951–955. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2009.05.001>
314. Berg RA, Henry C, Otto CW et al (1996) Initial end-tidal CO₂ is markedly elevated during cardiopulmonary resuscitation after asphyxial cardiac arrest. *Pediatr Emerg Care* 12(4):245–248
315. Bhende MS, Thompson AE (1995) Evaluation of an end-tidal CO₂ detector during pediatric cardiopulmonary resuscitation. *Pediatrics* 95(3):395–399
316. Bhende MS, Karasic DG, Karasic RB (1996) End-tidal carbon dioxide changes during cardiopulmonary resuscitation after experimental asphyxial cardiac arrest. *Am J Emerg Med* 14(4):349–350
317. Chalak LF, Barber CA, Hynan L, Garcia D, Christie L, Wyckoff MH (2011) End-tidal CO₂ detection of an audible heart rate during neonatal cardiopulmonary resuscitation after asystole in asphyxiated piglets. *Pediatr Res* 69(5 Pt 1):401–405. <https://doi.org/10.1203/PDR.0b013e31812125f7f>
318. Baik-Scheditz N, Pichler G, Schwaberg B, Mileder L, Avian A, Urlesberger B (2017) Peripheral intravenous access in preterm neonates during postnatal stabilization: feasibility and safety. *Front Pediatr* 5:171. <https://doi.org/10.3389/fped.2017.00171>
319. Scrivens A, Reynolds PR, Emery FE et al (2019) Use of intraosseous needles in neonates: a systematic review. *Neonatology* 116(4):305–314. <https://doi.org/10.1159/000502212>
320. Wagner M, Ollischar M, O'Reilly M et al (2018) Review of routes to administer medication during prolonged neonatal resuscitation. *Pediatr Crit Care Med* 19(4):332–338. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001493>
321. Schwindt EM, Hoffmann F, Deindl P, Waldhoer TJ, Schwindt JC (2018) Duration to establish an emergency vascular access and how to accelerate it: a simulation-based study performed in real-life neonatal resuscitation rooms. *Pediatr Crit Care Med* 19(5):468–476. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001508>
322. Antonucci R, Antonucci L, Locci C, Porcella A, Cuzzolin L (2018) Current challenges in neonatal

- resuscitation: What is the role of adrenaline? *Paediatr Drugs* 20(5):417–428. <https://doi.org/10.1007/s40272-018-0300-6>
323. Isayama T, Mildenhall L, Schmöler GM et al (2020) The route, dose, and interval of epinephrine for neonatal resuscitation: a systematic review. *Pediatrics* 146(4):e20200586. <https://doi.org/10.1542/peds.2020-0586>
324. Matterberger C, Baik-Schneditz N, Schwaberg B et al (2018) Blood glucose and cerebral tissue oxygenation immediately after birth—an observational study. *J Pediatr* 200:19–23. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2018.05.008>
325. Basu SK, Ottolini K, Govindan V et al (2018) Early glycemic profile is associated with brain injury patterns on magnetic resonance imaging in hypoxic ischemic encephalopathy. *J Pediatr* 203:137–143. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2018.07.041>
326. Finn D, Roehr CC, Ryan CA, Dempsey EM (2017) Optimising intravenous volume resuscitation of the newborn in the delivery room: practical considerations and gaps in knowledge. *Neonatology* 112(2):163–171. <https://doi.org/10.1159/000475456>
327. Katheria AC, Brown MK, Hassan K et al (2017) Hemodynamic effects of sodium bicarbonate administration. *J Perinatol* 37(5):518–520. <https://doi.org/10.1038/jp.2016.258>
328. Moe-Byrne T, Brown JVE, McGuire W (2018) Naloxone for opioid-exposed newborn infants. *Cochrane Database Syst Rev* 10:CD3483. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003483.pub3>
329. Guinsburg R, Wyckoff MH (2006) Naloxone during neonatal resuscitation: acknowledging the unknown. *Clin Perinatol* 33(1):121–132. <https://doi.org/10.1016/j.clp.2005.11.017>
330. Moreland TA, Brice JE, Walker CH, Parija AC (1980) Naloxone pharmacokinetics in the newborn. *Br J Clin Pharmacol* 9(6):609–612
331. van Vonderen JJ, Siew ML, Hooper SB, de Boer MA, Walther FJ, te Pas AB (2012) Effects of naloxone on the breathing pattern of a newborn exposed to maternal opiates. *Acta Paediatr* 101(7):e309–e312. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.2012.02649.x>
332. Azzopardi D, Strohm B, Linsell L et al (2012) Implementation and conduct of therapeutic hypothermia for perinatal asphyxial encephalopathy in the UK—analysis of national data. *PLoS One* 7(6):e38504. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038504>
333. Vannucci RC, Vannucci SJ (1978) Cerebral carbohydrate metabolism during hypoglycemia and anoxia in newborn rats. *Ann Neurol* 4(1):73–79
334. Vannucci RC, Nardis EE, Vannucci SJ (1980) Cerebral metabolism during hypoglycemia and asphyxia in newborn dogs. *Biol Neonate* 38(5–6):276–286
335. Park WS, Chang YS, Lee M (2001) Effects of hyperglycemia or hypoglycemia on brain cell membrane function and energy metabolism during the immediate reoxygenation-reperfusion period after acute transient global hypoxia-ischemia in the newborn piglet. *Brain Res* 901(1–2):102–108
336. Pinchefskey EF, Hahn CD, Kamino D et al (2019) Hyperglycemia and glucose variability are associated with worse brain function and seizures in neonatal encephalopathy: a prospective cohort study. *J Pediatr* 209:23–32. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2019.02.027>
337. Basu SK, Kaiser JR, Guffey D et al (2016) Hypoglycaemia and hyperglycaemia are associated with unfavourable outcome in infants with hypoxic ischaemic encephalopathy: a post hoc analysis of the CoolCap Study. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 101(2):F149–F155. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2015-308733>
338. Salhab WA, Wyckoff MH, Luptook AR, Perlman JM (2004) Initial hypoglycemia and neonatal brain injury in term infants with severe fetal acidemia. *Pediatrics* 114(2):361–366
339. Nadeem M, Murray DM, Boylan GB, Dempsey EM, Ryan CA (2011) Early blood glucose profile and neurodevelopmental outcome at two years in neonatal hypoxic-ischaemic encephalopathy. *BMC Pediatr* 11:10. <https://doi.org/10.1186/1471-2431-11-10>
340. Perlman JM, Wyllie J, Kattwinkel J et al (2010) Neonatal resuscitation: 2010 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Pediatrics* 126(5):e1319–e1344. <https://doi.org/10.1542/peds.2010-2972B>
341. Rech Morassutti F, Cavallin F, Zaramella P, Bortolus R, Parotto M, Trevisanuto D (2015) Association of rewarming rate on neonatal outcomes in extremely low birth weight infants with hypothermia. *J Pediatr* 167(3):557–561.e1–2. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2015.06.008>
342. Feldman A, De Benedictis B, Alpan G, La Gamma EF, Kase J (2016) Morbidity and mortality associated with rewarming hypothermic very low birth weight infants. *J Neonatal Perinatal Med* 9(3):295–302. <https://doi.org/10.3233/NPM-16915143>
343. Perlman JM, Wyllie J, Kattwinkel J et al (2010) Part 11: neonatal resuscitation: 2010 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Circulation* 122(16 Suppl 2):S516–S538. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.110.971127>
344. Jacobs SE, Berg M, Hunt R, Tarnow-Mordi WO, Inder TE, Davis PG (2013) Cooling for newborns with hypoxic ischaemic encephalopathy. *Cochrane Database Syst Rev* 1:CD3311. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003311.pub3>
345. Shankaran S, Laptook AR, Pappas A et al (2014) Effect of depth and duration of cooling on deaths in the NICU among neonates with hypoxic ischemic encephalopathy: a randomized clinical trial. *JAMA* 312(24):2629–2639. <https://doi.org/10.1001/jama.2014.16058>
346. Laptook AR, Shankaran S, Tyson JE et al (2017) Effect of therapeutic hypothermia initiated after 6 hours of age on death or disability among newborns with hypoxic-ischemic encephalopathy: a randomized clinical trial. *JAMA* 318(16):1550–1560. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.14972>
347. Kariholu U, Montaldo P, Markati T et al (2020) Therapeutic hypothermia for mild neonatal encephalopathy: a systematic review and meta-analysis. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 105(2):225–228. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2018-315711>
348. O'Donnell CP, Kamlin CO, Davis PG, Carlin JB, Morley CJ (2006) Interobserver variability of the 5-minute Apgar score. *J Pediatr* 149(4):486–489. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2006.05.040>
349. Rudiger M, Braun N, Aranda J et al (2015) Neonatal assessment in the delivery room—Trial to Evaluate a Specified Type of Apgar (TEST-Apgar). *BMC Pediatr* 15:18. <https://doi.org/10.1186/s12887-015-0334-7>
350. Dalili H, Nili F, Sheikh M, Hardani AK, Shariat M, Nayeri F (2015) Comparison of the four proposed Apgar scoring systems in the assessment of birth asphyxia and adverse early neurologic outcomes. *PLoS One* 10(3):e122116. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122116>
351. Bossaert LL, Perkins GD, Askitopoulou H et al (2015) European resuscitation council guidelines for resuscitation 2015: section 11. The ethics of resuscitation and end-of-life decisions. *Resuscitation* 95:302–311. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.07.033>
352. Nuffield Council on Bioethics (2006) Critical care decisions in fetal and neonatal medicine: ethical issues. <https://www.nuffieldbioethics.org/publications/neonatal-medicine-and-care>
353. Harrington DJ, Redman CW, Moulden M, Greenwood CE (2007) The long-term outcome in surviving infants with Apgar zero at 10 minutes: a systematic review of the literature and hospital-based cohort. *Am J Obstet Gynecol* 196(5):463.e1–463.e5
354. Ely DM, Driscoll AK (2020) Infant mortality in the United States, 2018: data from the period linked birth/infant death file. *Natl Vital Stat Rep* 69(7):1–18
355. Numerato D, Fattore G, Tediosi F et al (2015) Mortality and length of stay of very low birth weight and very preterm infants: a EuroHOPE study. *PLoS One* 10(6):e131685. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131685>
356. Lee SK, Penner PL, Cox M (1991) Comparison of the attitudes of health care professionals and parents toward active treatment of very low birth weight infants. *Pediatrics* 88(1):110–114
357. Gillam L, Sullivan J (2011) Ethics at the end of life: Who should make decisions about treatment limitation for young children with life-threatening or life-limiting conditions? *J Paediatr Child Health* 47(9):594–598. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1754.2011.02177.x>
358. Rysavy MA, Li L, Bell EF et al (2015) Between-hospital variation in treatment and outcomes in extremely preterm infants. *N Engl J Med* 372(19):1801–1811. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1410689>
359. Mentzelopoulos SD, Couper K, Van de Voorde P et al (2021) European Resuscitation Council guidelines 2021: ethics of resuscitation and end of life decisions. *Resuscitation* 161:408–432. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.017>
360. Fulbrook P, Latour J, Albarra J et al (2007) The presence of family members during cardiopulmonary resuscitation: European Federation of Critical Care Nursing Associations, European Society of Paediatric and Neonatal Intensive Care and European Society of Cardiology Council on Cardiovascular Nursing and Allied Professions joint position statement. *Eur J Cardiovasc Nurs* 6(4):255–258. <https://doi.org/10.1016/j.ejcnurse.2007.07.003>
361. Dainty KN, Atkins DL, Breckwoldt J et al (2021) Family presence during resuscitation in paediatric cardiac arrest: a systematic review. *Resuscitation* 162:20–34. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.01.017>
362. Sawyer A, Ayers S, Bertullies S et al (2015) Providing immediate neonatal care and resuscitation at birth beside the mother: parents' views, a qualitative study. *BMJ Open* 5(9):e8495. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2015-008495>
363. Yoxall CW, Ayers S, Sawyer A et al (2015) Providing immediate neonatal care and resuscitation at birth beside the mother: clinicians' views, a qualitative study. *BMJ Open* 5(9):e8494. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2015-008494>

364. Zehnder E, Law BHY, Schmolzer GM (2020) Does parental presence affect workload during neonatal resuscitation? *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 105(5):559–561. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2020-318840>
365. Harvey ME, Pattison HM (2012) Being there: a qualitative interview study with fathers present during the resuscitation of their baby at delivery. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 97(6):F439–F443. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2011-301482>
366. Harvey ME, Pattison HM (2013) The impact of a father's presence during newborn resuscitation: a qualitative interview study with healthcare professionals. *BMJ Open* 3(3):e2547. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2013-002547>
367. Shah P, Anvekar A, McMichael J, Rao S (2015) Outcomes of infants with Apgar score of zero at 10 min: the West Australian experience. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 100(6):F492–F494. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2014-307825>
368. Zhang Y, Zhu J, Liu Z et al (2020) Intravenous versus intraosseous adrenaline administration in out-of-hospital cardiac arrest: a retrospective cohort study. *Resuscitation* 149:209–216. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.01.009>
369. Zhong YJ, Claveau M, Yoon EW et al (2019) Neonates with a 10-min Apgar score of zero: outcomes by gestational age. *Resuscitation* 143:77–84. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.07.036>
370. Torke AM, Bledsoe P, Wocial LD, Bosslet GT, Helft PR (2015) CEASE: a guide for clinicians on how to stop resuscitation efforts. *Ann Am Thorac Soc* 12(3):440–445. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.201412-552PS>
371. Foglia EE, Weiner G, de Almeida MFB et al (2020) Duration of resuscitation at birth, mortality, and neurodevelopment: a systematic review. *Pediatrics* 146(3):e20201449. <https://doi.org/10.1542/peds.2020-1449>
372. Haines M, Wright IM, Bajuk B et al (2016) Population-based study shows that resuscitating apparently stillborn extremely preterm babies is associated with poor outcomes. *Acta Paediatr* 105(11):1305–1311. <https://doi.org/10.1111/apa.13503>
373. Wilkinson D, Savulescu J (2014) A costly separation between withdrawing and withholding treatment in intensive care. *Bioethics* 28(3):127–137. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8519.2012.01981.x>
- Ed 105(3):232–239. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2019-318402>
378. Manktelow BN, Seaton SE, Field DJ, Draper ES (2013) Population-based estimates of in-unit survival for very preterm infants. *Pediatrics* 131(2):e425–e432. <https://doi.org/10.1542/peds.2012-2189>
379. Marlow N, Bennett C, Draper ES, Hennessy EM, Morgan AS, Costeloe KL (2014) Perinatal outcomes for extremely preterm babies in relation to place of birth in England: the EPICure 2 study. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 99(3):F181–F188. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2013-305555>
380. Medlock S, Ravelli AC, Tamminga P, Mol BW, Abu-Hanna A (2011) Prediction of mortality in very premature infants: a systematic review of prediction models. *PLoS One* 6(9):e23441. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023441>
381. Swamy R, Mohapatra S, Bythell M, Embleton ND (2010) Survival in infants live born at less than 24 weeks' gestation: the hidden morbidity of non-survivors. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 95(4):F293–F294. <https://doi.org/10.1136/adc.2009.171629>
382. Tyson JE, Parikh NA, Langer J, Green C, Higgins RD (2008) Intensive care for extreme prematurity—moving beyond gestational age. *N Engl J Med* 358(16):1672–1681. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa073059>

Weiterführende Literatur

374. Bottoms SF, Paul RH, Mercer BM et al (1999) Obstetric determinants of neonatal survival: antenatal predictors of neonatal survival and morbidity in extremely low birth weight infants. *Am J Obstet Gynecol* 180(3 Pt 1):665–669
375. Brumbaugh JE, Hansen NI, Bell EF et al (2019) Outcomes of extremely preterm infants with birth weight less than 400 g. *JAMA Pediatr* 173(5):434–445. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2019.0180>
376. Costeloe KL, Hennessy EM, Haider S, Stacey F, Marlow N, Draper ES (2012) Short term outcomes after extreme preterm birth in England: comparison of two birth cohorts in 1995 and 2006 (the EPICure studies). *BMJ* 345:e7976. <https://doi.org/10.1136/bmj.e7976>
377. Mactier H, Bates SE, Johnston T et al (2020) Perinatal management of extreme preterm birth before 27 weeks of gestation: a framework for practice. *Arch Dis Child Fetal Neonatal*

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:650–719
<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00887-9>
 Angenommen: 19. April 2021
 Online publiziert: 2. Juni 2021
 © European Resuscitation Council (ERC),
 German Resuscitation Council (GRC), Austrian
 Resuscitation Council (ARC) 2021



Patrick Van de Voorde^{1,2} · Nigel M. Turner³ · Jana Djakow^{4,5} · Nieves de Lucas⁶ ·
 Abel Martinez-Mejias⁷ · Dominique Biarent⁸ · Robert Bingham⁹ ·
 Olivier Brissaud¹⁰ · Florian Hoffmann¹¹ · Groa Bjork Johannesdottir¹² ·
 Torsten Lauritsen¹³ · Ian Maconochie¹⁴

¹ Department of Emergency Medicine, Faculty of Medicine UG, Ghent University Hospital, Gent, Belgium; ² Federal Department of Health, EMS Dispatch Center, East & West Flanders, Brüssel, Belgien; ³ Paediatric Cardiac Anesthesiology, Wilhelmina Children's Hospital, University Medical Center, Utrecht, Niederlande; ⁴ Paediatric Intensive Care Unit, NH Hospital, Hořovice, Tschechien; ⁵ Paediatric Anaesthesiology and Intensive Care Medicine, University Hospital Brno, Medical Faculty of Masaryk University, Brno, Tschechien; ⁶ SAMUR – Protección Civil, Madrid, Spanien; ⁷ Department of Paediatrics and Emergency Medicine, Hospital de Terrassa, Consorci Sanitari de Terrassa, Barcelona, Spanien; ⁸ Paediatric Intensive Care & Emergency Department, Hôpital Universitaire des Enfants, Université Libre de Bruxelles, Brüssel, Belgien; ⁹ Hon. Consultant Paediatric Anaesthetist, Great Ormond Street Hospital for Children, London, Großbritannien; ¹⁰ Réanimation et Surveillance Continue Pédiatriques et Néonatales, CHU Pellegrin – Hôpital des Enfants de Bordeaux, Université de Bordeaux, Bordeaux, Frankreich; ¹¹ Pädiatrische Intensiv- und Notfallmedizin, Kinderklinik und Kinderpoliklinik im Dr. von Haunerschen Kinderspital, Ludwig-Maximilians-Universität, München, Deutschland; ¹² Paediatric gastroenterology, Akureyri Hospital, Akureyri, Island; ¹³ Paediatric Anaesthesia, The Juliane Marie Centre, University Hospital of Copenhagen, Kopenhagen, Dänemark; ¹⁴ Paediatric Emergency Medicine, Faculty of Medicine Imperial College, Imperial College Healthcare Trust NHS, London, Großbritannien

Lebensrettende Maßnahmen bei Kindern (Paediatric Life Support, PLS)

Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Einleitung und Geltungsbereich

Ursachen und pathophysiologische Abläufe bei kritisch kranken oder schwer verletzten Kindern und Säuglingen unterscheiden sich von denen bei Erwachsenen. Die Inzidenz kritischer Erkrankungen oder Verletzungen, insbesondere die eines manifesten Atem-Kreislauf-Stillstands, ist bei Kindern wesentlich

Die Leitlinien wurden mit dem generischen Maskulinum übersetzt. Bitte beachten Sie, dass alle Personenbezeichnungen gleichermaßen für beide Geschlechter gelten.

Die Übersetzung beruht auf der Version vom 29.01.2021. Bis zur Publikation des englischen Originals in *Resuscitation* wurden in manchen Kapiteln Literaturstellen korrigiert oder andere Änderungen vorgenommen, die den Sinn nicht wesentlich ändern.

Supplementary data associated with this article can be found, in the online version, at <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.015>.

niedriger als bei Erwachsenen. Die Mehrzahl kindlicher Notfälle wird primär von pädiatrisch nicht spezialisierten Helfern versorgt, die nur über eine eingeschränkte Erfahrung bei pädiatrischen Notfällen verfügen. Die Evidenz der empfohlenen Erstversorgungsmaßnahmen ist gering und/oder wird aus den Erkenntnissen der Erwachsenenmedizin abgeleitet. Unterschiede in der lokalen notfallmedizinischen Infrastruktur und der Verfügbarkeit von Ressourcen können zu erheblichen Abweichungen in der Praxis führen. Die Arbeitsgruppe des European Resuscitation Council (ERC) für die Leitlinien des Paediatric Life Support (PLS) hat deshalb versucht, die Leitlinien nicht nur auf der Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse zu erstellen, sondern auch die Umsetzbarkeit im Rahmen von Schulungen und im klinischen Alltag zu berücksichtigen [1].

Es wurden 80 Kernfragen identifiziert, die es zu beurteilen gab. Suchstrategien und -ergebnisse sowie Wissenslücken werden im Anhang zu diesem Leitlinienkapitel (*Anhang XX*) ausführlich beschrieben und hier nur in Hinblick auf verfügbare Evidenz und deren Auswirkung auf Praxis und Forschung kurz zusammengefasst. Im Allgemeinen wurden Suchstrategien in Form von Rapid Reviews (RR) durchgeführt, die im Juni 2020 aktualisiert wurden (<https://www.who.int/alliance-hpsr/resources/publications/rapid-review-guide/de/>). Wenn möglich wurden zur Beantwortung der Suchanfragen, die durch das International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) geprüften Reviews auf Basis des Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations (ILCOR COSTR) herangezogen. Für Themen, die nicht oder nur teilweise von ILCOR

PLS* 2021
5 KERNAUSSAGEN

*0–18 Jahre, ausgenommen Neugeborenen im Rahmen der Geburt

1. Verwendung des ABCDE-Schemas als gemeinsame Sprache
Als Team zusammenarbeiten – Kompetentes Auftreten.

2. Titration der Sauerstoffgabe auf eine Ziel-SpO₂ von 94–98% — Applikation von 100% High-Flow O₂ nur, wenn SpO₂ nicht gemessen werden kann und Zeichen eines respiratorischen / hämodynamischen Versagens vorhanden sind.

3. Bei „Schock“ ist die Verabreichung von einem oder mehreren Flüssigkeitsboli von 10 ml/kg KG (bevorzugt balancierter) Vollelektrolytlösung (oder Blutprodukten) indiziert. Reevaluation nach jedem Bolus. Frühzeitig Beginn einer Katecholamintherapie erwägen.

4. Verwenden Sie - wenn Sie geschult sind - den spezifischen PBLIS- Algorithmus für den Basic Life Support (ABC – 15:2). Eine qualitativ hochwertige CPR und Verringerung der "Hands-off-Zeit" sind von höchster Priorität. Achten Sie auf die Sicherheit der Helfer.

5. Beim Advanced Life Support verwenden Sie den spezifischen EPALS- Algorithmus. Suchen und behandeln Sie reversibel Ursachen. Verwenden Sie die 2-Helfer-Methode der BMV als Beatmungsunterstützung der ersten Wahl. Nur nach endotrachealer Intubation beatmen Sie asynchron mit altersadäquater Beatmungsfrequenz (10-25/Minute) .

Abb. 1 ▲ Kernaussagen der PLS-Leitlinien 2021

abgedeckt werden, wurden sowohl bestehende Leitlinien als auch systematische (SR) oder narrative Reviews (Übersichtsarbeiten; SCHRITT 0) herangezogen. Zusätzlich wurden auch klinische Studien (sowohl randomisierte kontrollierte Studien [RCT] als auch Beobachtungsstudien) eingeschlossen, die in direktem Zusammenhang mit dem definierten Vorgehen „Population – Intervention – Control – Outcomes – Setting – Times“ (PICOST) stehen (SCHRITT 1). Die Qualität der vorhandenen Leitlinien und der systematischen Reviews (SR) wurde mit dem AGREE II- bzw. AM-

STAR II-Tool bewertet [2, 3]. Für klinische Studien wurden Ergebnisse und Einschränkungen angegeben, aber keine Bewertung der Evidenz. Als Grundlage unserer Erkenntnisse wurden auch indirekte Evidenzen (SCHRITT 2) durch Erwachsenenstudien, Tiermodelle und nicht klinischen Publikationen berücksichtigt.

Dieses Kapitel der ERC-Leitlinien befasst sich mit der Behandlung kritisch kranker oder verletzter Säuglinge und Kinder vor, während und nach einem Atem-Kreislauf-Stillstand. Es soll in Verbindung mit anderen Kapiteln gelesen

werden, die sich auf andere relevante Themen, z. B. Informationen zu Epidemiologie, Ethik, Ausbildung und bestimmte besondere Umstände in Bezug auf Kinder konzentrieren.

Die Leitlinien für die Reanimation von Neugeborenen (Anpassungsphase nach der Geburt) werden in einem separaten Kapitel beschrieben. Die ERC PLS-Leitlinien gelten für **alle anderen Kinder jenseits der Perinatalperiode**, seien es Neugeborene (innerhalb von 4 Wochen nach der Geburt), Säuglinge (bis zum ersten Lebensjahr) oder Kinder und Jugendliche (ab dem Alter von 1 bis 18 Jahren; [4]). Aus praktischer Sicht können die Leitlinien für Erwachsene für jeden Jugendlichen verwendet werden, der vom Helfer als Erwachsener eingestuft wird.

Im folgenden Text bezieht sich Kind, sofern nicht anders angegeben, sowohl auf Säuglinge als auch auf Kinder. Der Begriff professionelle Helfer wird verwendet, um diejenigen Personen zu identifizieren, die in der Patientenversorgung tätig sind und ein höheres Ausbildungsniveau als ungeschulte Ersthelfer haben. Der Begriff kompetenter Helfer wird für diejenigen Helfer verwendet, welche über ausreichende Fähigkeiten und Fachkenntnisse sowie regelmäßige Schulungen verfügen, um ein bestimmtes Verfahren oder einen bestimmten Eingriff auf professionellem Niveau durchzuführen. Es ist nicht immer möglich, eindeutig zu definieren, was ausreichende Kenntnisse genau bedeutet. Dies bietet die Möglichkeit und Chance für den Helfer, kritisch seine Kompetenzen zu reflektieren.

Im Vergleich zu den Leitlinien aus dem Jahr 2015 wurden in dieser überarbeiteten Version relativ wenige wesentliche Änderungen vorgenommen. Zu den wichtigsten Punkten gehören (Abb. 1):

- Die PLS-Leitlinien gelten für alle Kinder im Alter von 0 bis 18 Jahren mit Ausnahme von Neugeborenen rund um die Geburt. Patienten, die erwachsen aussehen, können als Erwachsene behandelt werden.
- Bei der Sauerstofftherapie soll eine SpO₂ von 94 bis 98 % angestrebt werden. Bis eine Bestimmung der SpO₂ (oder PaO₂) möglich ist, empfehlen wir bei Kindern mit Anzeichen von

hämodynamischem und/oder respiratorischem Versagen die höchstmögliche Sauerstoffkonzentration zu applizieren.

- Bei Kindern im Kreislaufversagen sollen ein oder mehrere Flüssigkeitsboli von jeweils 10 ml/kgKG gegeben werden. Nach jedem Bolus soll eine Reevaluation erfolgen, um eine Volumenüberladung zu vermeiden. Beginnen Sie frühzeitig eine Therapie mit vasoaktiven Medikamenten (Katecholamine). Begrenzen Sie bei hämorrhagischem Schock kristalloide Boli und geben Sie Blutprodukte, sobald diese verfügbar sind (Vollblut oder Erythrozytenkonzentrate mit Plasma und Thrombozytenkonzentrat).
- Jede Person, die im pädiatrischen Basic Life Support (PBLs) geschult ist, soll den spezifischen PBLs-Algorithmus verwenden.
- Bei PBLs-Helfern werden im BLS-Algorithmus unmittelbar nach den 5 Initialbeatmungen Thoraxkompressionen durchgeführt – es sei denn, es liegen Lebenszeichen und damit eindeutige Anzeichen einer intakten Kreislauffunktion vor. Einzelhelfer sollen, bevor sie fortfahren, zuerst um Hilfe rufen (Freisprecheinrichtung). Im Fall eines plötzlichen, beobachteten Kollapses sollen Helfer versuchen, einen AED anzuwenden, wenn dieser leicht zugänglich ist. Wenn kein Telefon verfügbar ist, soll 1 min lang eine kardiopulmonale Reanimation („cardio-pulmonary resuscitation“, CPR) durchgeführt werden, bevor die CPR für den Anruf unterbrochen wird.
- Ist der PBLs-Helfer allein, können entweder eine thoraxumgreifende Zwei-Daumen-Technik oder zwei Fingerspitzen für die Thoraxkompressionen bei Säuglingen verwendet werden.
- Für EPALS-Helfer wird noch mehr Wert auf die aktive Suche nach reversiblen Ursachen (und deren Behandlung) gelegt.
- Die 2-Personen-Beutel-Maske-Beatmung ist die Beatmungsunterstützung der ersten Wahl während der Herz-Lungen-Wiederbelebung für al-

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:650–719 <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00887-9>
 © European Resuscitation Council (ERC), German Resuscitation Council (GRC), Austrian Resuscitation Council (ARC) 2021

P. Van de Voorde · N. M. Turner · J. Djakow · N. de Lucas · A. Martinez-Mejias · D. Biarent · R. Bingham · O. Brissaud · F. Hoffmann · G. B. Johannesdottir · T. Lauritsen · I. Maconochie

Lebensrettende Maßnahmen bei Kindern (Paediatric Life Support, PLS). Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Zusammenfassung

Die Leitlinien des European Resuscitation Council (ERC) zu den lebensrettenden Maßnahmen bei Kindern (Paediatric Life Support, PLS) basieren auf dem 2020 verfassten „International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations“ der ILCOR (International Liaison Committee on Resuscitation). Dieses Kapitel beinhaltet Leitlinien zur Behandlung kritisch kranker oder verletzter Säuglinge, von Kindern und

Jugendlichen vor, während und nach einem Atem-Kreislauf-Stillstand.

Schlüsselwörter

Wiederbelebung · Kind · Säugling · Pädiatrie · CPR · Grundlegende Lebenserhaltung · Erweiterte Lebenshilfe · Defibrillation · Pädiatrie · Atemstillstand · Kreislaufversagen · Schock · Sauerstoff · Herzstillstand · Beutel-Masken-Beatmung

Paediatric Life Support. European Resuscitation Council Guidelines 2021

Abstract

The European Resuscitation Council (ERC) Paediatric Life Support (PLS) guidelines are based on the 2020 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations of the International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR). This section provides guidelines on the management of critically ill or injured infants, children and adolescents

before, during and after respiratory/cardiac arrest.

Keywords

Resuscitation · Child · Infant · Paediatric · CPR · Basic life support · Advanced life support · Defibrillation · Pediatric · Respiratory failure · Circulatory failure · Shock · Oxygen · Cardiac arrest · Bag-mask ventilation

le kompetenten Helfer. Nur wenn ein Patient intubiert ist, empfehlen wir eine asynchrone Beatmung mit einer altersgerechten Beatmungsfrequenz (10–25 pro Minute).

- EPALS-Helfer sollen, wenn Zweifel bestehen, den Rhythmus als schockbar einstufen.

Diese Leitlinien wurden von den Mitgliedern der Leitliniengruppe Paediatric Life Support entworfen und verabschiedet. Die zur Leitlinienentwicklung verwendete Methodik ist in der Zusammenfassung dargestellt [5]. Die Leitlinien wurden im Oktober 2020 für öffentliche Kommentare publiziert. Das Feedback wurde von der Leitliniengruppe begutachtet und die Leitlinien wurden gegebenenfalls modifiziert. Die Leitlinien wurden der ERC-

Generalversammlung am 10. Dezember 2020 vorgelegt und von dieser genehmigt.

Leitlinie für die klinische Praxis

Erkennen und Behandlung kritisch kranker Kinder

Beurteilung des kritisch kranken oder verletzten Kindes

- Verwenden Sie das pädiatrische Blickdiagnosedreieck oder ein ähnliches Quick-Look-Tool, um ein gefährdetes Kind frühzeitig zu erkennen.
- Folgen Sie dem ABCDE-Schema
 - Führen Sie bei jedem Schritt der Bewertung die erforderlichen Interventionen durch, wenn pathologische Befunde festgestellt werden.

Tab. 1 Altersspezifische Normwerte: Atemfrequenz					
Altersspezifische Atemfrequenz	1 Monat	1 Jahr	2 Jahre	5 Jahre	10 Jahre
Obergrenze des Normbereichs	60	50	40	30	25
Untergrenze des Normbereichs	25	20	18	17	14

Tab. 2 Altersspezifische Normwerte: Herzfrequenz					
Altersspezifische Herzfrequenz	1 Monat	1 Jahr	2 Jahre	5 Jahre	10 Jahre
Obergrenze des Normbereichs	180	170	160	140	120
Untergrenze des Normbereichs	110	100	90	70	60

Tab. 3 Altersspezifische Normwerte: Systolischer und mittlerer arterieller Blutdruck (MAD)					
Altersspezifischer Blutdruck	1 Monat	1 Jahr	5 Jahre	10 Jahre	
p50 für systolischen Blutdruck	75	95	100	110	
p5 für systolischen Blutdruck	50	70	75	80	
p50 für MAD	55	70	75	75	
p5 für MAD	40	50	55	55	

Fünfte (p5) und fünfzigste (p50) altersspezifische Perzentile

- Wiederholen Sie Ihre Evaluation nach jeder Intervention oder wenn Zweifel bestehen.
- **A für Atemweg (Airway)** – Öffnen der Atemwege und Atemwege offenhalten
- **B für (Be-)Atmung (Breathing)** – überprüfen Sie
 - die Atemfrequenz (siehe [Tab. 1](#); Trends sind wichtiger als einzelne Messwerte).
 - die Atemarbeit, z. B. Einziehungen, Stöhnen, Nasenflügel etc.
 - das Atemzugvolumen (Tidalvolumen VT) und den Lufteintritt klinisch (Thorax hebt sich, Qualität des Schreiens) oder durch Auskultation.
 - die Oxygenierung (Hautkolorit, Pulsoxymetrie). Beachten Sie, dass eine Hypoxämie ohne andere offensichtliche klinische Symptome auftreten kann.
 - Erwägen Sie die Verwendung der Kapnographie.
 - Erwägen Sie die sonographische Untersuchung des Thorax.
- **C für Kreislauf (Circulation)** – prüfen Sie
 - die Pulsfrequenz (siehe [Tab. 2](#); Trends sind wichtiger als einzelne Messwerte).
 - die Pulsstärke.
 - die periphere Durchblutung und Endorganperfusion: Kapillarfüllung („capillary refill time“, CRT), Harnmenge, Bewusstseinszustand. Beachten Sie, dass die Kapillarfüllung nicht sehr empfindlich ist. Eine normale Kapillarfüllungszeit soll Helfer nicht beruhigen.
- **D für Disability (Neurologie)** – überprüfen Sie
 - die Bewertung der Vorlast: Halsvenen, Lebergröße, Rasselgeräusche.
 - den Blutdruck (siehe [Tab. 3](#)).
 - Erwägen Sie eine Messung des Serumlaktats.
 - Erwägen Sie den Einsatz eines Herzultraschalls.
- **D für Disability (Neurologie)** – überprüfen Sie
 - das Bewusstseinsniveau unter Verwendung des AVPU-Scores (Alert-Verbal-Pain-Unresponsive bzw. WASB – Wach-Ansprechbar-Schmerzreiz-Bewusstlos), der (pädiatrischen) Glasgow Coma Scale (GCS) oder des GCS-Werts für die motorische Reaktion. Ein AVPU-Wert (bzw. WASB-Wert) von P (bzw. S) oder weniger, ein GCS-Wert für die motorische Reaktion von 4 und ein GCS-Gesamtwert von 8 oder weniger definieren einen Grad der Bewusstseinsstrübung, bei der vollständig erhaltene Schutzreflexe unwahrscheinlich sind.
 - die Pupillengröße, Symmetrie und Reaktivität gegenüber Licht.

- das Vorhandensein von Beuge- oder Streck synergismen oder fokale neurologische Zeichen.
- Erkennen Sie epileptische Anfälle als neurologischen Notfall.
- Überprüfen Sie den Blutzucker bei Bewusstseinsveränderungen und/oder einer möglichen Hypoglykämie.
- Neu aufgetretene, ungeklärte neurologische Symptome, insbesondere solche, die nach einer Reanimation bestehen bleiben, erfordern eine dringende Bildung.

Management des kritisch kranken oder verletzten Kindes

Obwohl das ABCDE-Schema schrittweise beschrieben wird, werden die Interventionen in der Praxis am besten von mehreren Teammitgliedern koordiniert und parallel durchgeführt. **Teamarbeit** ist essenziell für das erfolgreiche Management von kritisch kranken oder verletzten Kindern.

Wichtige Komponenten der Teamarbeit sind:

- **Vorausplanung:** was zu erwarten ist, Aufgaben zuweisen, ...
- **Vorbereitung:** Materialien, Checklisten zur Unterstützung der Entscheidungsfindung, Patientendaten etc.
- **Choreografie:** wo man steht, wie das Kind beurteilt wird, effektive Teamgröße
- **Kommunikation:** sowohl verbal als auch non-verbal. Verwenden Sie Closed-Loop-Kommunikation und standardisierte Kommunikationselemente (z. B. um Pausen der Thoraxkompressionen zu zählen und den Patiententransfer zu planen). Halten Sie nichtessenzielle Kommunikation so gering wie möglich. Sorgen Sie für ein stressfreies Arbeitsumfeld. Implementieren Sie eine Teamkultur, die unangemessenes Verhalten, sei es von Kollegen oder Angehörigen, scharf verurteilt.
- **Interaktion:** Teammitglieder haben vordefinierte Rollen gemäß Protokoll und führen Aufgaben parallel aus. Der Teamleiter (deutlich erkennbar) überwacht die Teamleistung,

priorisiert Aufgaben, um gemeinsame Ziele zu erreichen, und hält das gesamte Team auf dem Laufenden. Wenn machbar, wird ein Hands-off-Teamleitungsstil bevorzugt. Ein gemeinsames Situationsbewusstsein ist von entscheidender Wichtigkeit.

Im Folgenden wird das Management verschiedener lebensbedrohlicher Notfälle bei Kindern in **der ersten Stunde** („first-hour management“) beschrieben, die bei unsachgemäßer Behandlung möglicherweise zu einem Kreislaufstillstand führen können. Kinder zeigen sehr oft eine Kombination von Problemen, die einen weitaus individuelleren Ansatz erforderlich machen. Die Behandlungsempfehlungen bei Kindern unterscheiden sich häufig von denen der Erwachsenen, unterscheiden sich jedoch auch zwischen Kindern unterschiedlichen Alters und Gewichts. Um das Gewicht eines Kindes abzuschätzen, verlassen Sie sich entweder auf die Angaben der Eltern oder Betreuer oder verwenden Sie eine längenbasierte Methode, die idealerweise um den Habitus des Körpers korrigiert ist. Verwenden Sie, wo immer möglich, Entscheidungshilfen, die vorberechnete Dosisempfehlungen für Notfallmedikamente und Materialien bereitstellen.

Management des Atemstillstands: ein allgemeiner Ansatz (AB)

Der Übergang von einem kompensierten zu einem dekompenzierten Zustand kann unvorhersehbar rasch erfolgen. Daher soll jedes gefährdete Kind überwacht werden, um eine Verschlechterung frühzeitig erkennen und behandeln zu können.

Die meisten Behandlungsmethoden der Atemwege gelten als aerosolerzeugend und erfordern daher, beim Verdacht auf übertragbare Erkrankungen eine geeignete (risikoadaptierte) Schutzausrüstung (PSA).

- Öffnen Sie den Atemweg und halten Sie ihn offen mittels
 - adäquater Positionierung von Kopf und Körper;
 - altersabhängiger Kopfpositionierung – durch Anheben des Kinns

und Verwendung des Esmarch-Handgriffs;

- sorgfältigem Absaugen von Sekret, Blut oder Erbrochenem. Wache Kinder werden ihre optimale Position spontan einnehmen.
- Erwägen Sie die Platzierung einer oropharyngealen Atemwegshilfe bei bewusstlosen Kindern ohne Würgerreflex.
 - Verwenden Sie die geeignete Größe der Atemwegshilfe (gemessen mittlerer Schneidezahn bis zum Kieferwinkel) und vermeiden Sie, die Zunge beim Einführen nach hinten zu drücken.
- Erwägen Sie die Platzierung einer nasopharyngealen Atemwegshilfe bei einem bewusstseinsgetrübten Kind.
 - Vermeiden Sie die Anwendung nasopharyngealer Atemwegshilfen bei Verdacht auf eine Schädelbasisfraktur oder eine Gerinnungsstörung mit Blutungsneigung.
 - Die richtige Einführtiefe wird von der Nasenöffnung bis zum Ohr-Tragus abgemessen.
- Bei Kindern mit einer **Tracheostomie**,
 - Überprüfen Sie die Durchgängigkeit der Kanüle und saugen Sie bei Bedarf ab.
 - Bei Verdacht auf eine Kanülenobstruktion, die nicht durch Absaugen behoben werden kann, entfernen Sie die Kanüle sofort und setzen Sie eine neue ein. Wenn dies nicht möglich ist, sollen die Helfer über einen (vordefinierten) Notfallplan für die Sicherung der Atemwege verfügen.
- Um die **Oxygenierung** zu unterstützen, sollen Sie zusätzlichen Sauerstoff und/oder die Verwendung eines positiven endexpiratorischen Drucks (PEEP) in Betracht ziehen.
 - Wenn es möglich ist, die pulsoxy-metrische Sättigung SpO₂ (oder den arteriellen Sauerstoffpartialdruck [PaO₂]) genau zu messen: Starten Sie die Sauerstofftherapie, wenn die SpO₂ < 94 % liegt.

Ziel ist es, einen SpO₂ von 94 % oder mehr mit möglichst wenig zusätzlichem FiO₂ (Anteil an eingeatmetem Sauerstoff) zu erreichen. Anhaltende SpO₂-Werte von 100 % sollen allgemein vermieden werden (außer z. B. bei pulmonaler Hypertonie, CO-Intoxikation). Geben Sie Kindern keine präventive Sauerstofftherapie ohne Anzeichen oder unmittelbares Risiko für eine Hypoxämie oder einen Schock. Für Kinder mit bestimmten chronischen Erkrankungen gibt es gegebenenfalls spezifische Empfehlungen.

- Wo es unmöglich ist, SpO₂ oder PaO₂ genau zu messen: Starten Sie die Sauerstofftherapie mit hohem FiO₂, basierend auf klinischen Anzeichen von Kreislauf- oder respiratorischem Versagen, und titrieren Sie die Sauerstofftherapie, sobald SpO₂ und/oder PaO₂ verfügbar sind.
- Wenn möglich, sollen kompetente Helfer bei Kindern mit respiratorischem Versagen und Hypoxämie, die nicht auf Sauerstoff mit niedrigem Fluss ansprechen, entweder eine Nasenbrille mit hohem Fluss (High Flow Nasal Cannula, HFNC) oder eine nichtinvasive Beatmung (NIV) in Betracht ziehen.
- Die endotracheale Intubation und anschließende mechanische Beatmung ermöglichen die sichere Anwendung und Titration von FiO₂ und PEEP. Die Entscheidung zur Intubation soll gegen die bestehenden Risiken des Verfahrens und die verfügbaren Ressourcen abgewogen werden (siehe unten).
- Bei hypoxämischen Kindern trotz hohem PEEP (> 10 cmH₂O) und Standardoptimierungsmaßnahmen kann eine permissive Hypoxämie (Ziel der Sauerstoffversorgung auf SpO₂ 88–92 % gesenkt) erwogen werden.
- Um die **Beatmung** zu unterstützen, passen Sie die Atemfrequenz (und die Expirationszeit) und/oder das Atemzugvolumen (VT) je nach Alter an.

- Verwenden Sie ein Tidalvolumen von 6 bis 8 ml/kg IBW (bezogen auf ideales Körpergewicht), wobei Sie unter anderem den physiologischen Totraum und den Totraum des Geräts berücksichtigen sollen (insbesondere bei jüngeren Kindern). Der Totraum des Geräts soll minimiert werden. Achten Sie auf normale Thoraxexkursionen. Vermeiden Sie übermäßige Tidalvolumina sowie eine Hypoventilation. Streben Sie eine Normokapnie an. Suchen Sie frühzeitig die Hilfe von Experten.
- Erwägen Sie bei akutem Lungenversagen eine permissive Hyperkapnie (pH > 7,2), um eine übermäßig aggressive Beatmung zu vermeiden. Eine permissive Hyperkapnie ist bei pulmonaler Hypertonie oder schwerem Schädel-Hirn-Trauma (SHT) nicht empfohlen.
- Verwenden Sie die endtidale CO₂ Messung oder den venösen Kohlendioxidpartialdruck (PvCO₂) nur als Ersatz für arterielles PaCO₂, nachdem eine Korrelation nachgewiesen wurde.
- Die **Beutel-Maske-Beatmung (BMV)** ist die primär empfohlene Therapie zur Beatmungsunterstützung.
 - Stellen Sie eine korrekte Kopfposition sowie einen dichten Sitz der Maske am Gesicht sicher und benutzen Sie eine korrekte Maskengröße.
 - Verwenden Sie eine für das Patientenalter geeignete Maske. Um ein angemessenes Tidalvolumen (VT) zu gewährleisten, soll die Inspirationszeit ausreichend lang sein (etwa 1 s), eine Überbeatmung soll vermieden werden.
 - Verwenden Sie die Zwei-Helfer-Methode, insbesondere wenn die Beatmung schwierig ist oder das Risiko einer Krankheitsübertragung besteht. Erwägen Sie den Einsatz weiterer Atemwegshilfen.
 - Kompetente Anwender sollen eine frühzeitige Platzierung eines supraglottischen Atemwegs (SGA) oder eines Endotrachealtubus (ET) in Betracht ziehen, wenn die Beutel-Maske-Beatmung die Oxygenierung und/oder Ventilation nicht verbessert oder eine lange Beatmungsdauer erwartet wird.
- Die **endotracheale Intubation (ET)** soll nur von einem kompetenten Helfer nach einem genau definierten Verfahren und mit den erforderlichen Materialien und Medikamenten durchgeführt werden. Die Entscheidung zur Intubation soll immer gegen das damit verbundene Risiko des Verfahrens abgewogen werden.
 - Die orale endotracheale Intubation ist in Notfällen der nasalen Intubation vorzuziehen.
 - Eine externe Kehlkopfmanipulation soll nur nach Ermessen des Helfers, der die Intubation durchführt, angewendet werden.
 - Verwenden Sie in Notfällen Endotrachealtuben mit Cuff (außer gegebenenfalls bei kleinen Säuglingen). Überwachen Sie den Cuffdruck mit einem geeigneten Messgerät gemäß den Empfehlungen des Herstellers (normalerweise < 20 bis 25 cmH₂O).
 - Verwenden Sie geeignete Medikamente, um die Intubationsbedingungen zu erleichtern und verabreichen Sie allen Kindern eine anschließende Analgosedierung, ausgenommen es handelt sich um einen Kreislaufstillstand.
 - Überwachen Sie die Hämodynamik und SpO₂ während der Intubation und beachten Sie, dass Bradykardie und Sättigungsabfälle späte Zeichen einer Hypoxie sind.
 - Lange Laryngoskopiedauer und/oder mehrere Versuche sollen vermieden werden. Antizipieren Sie mögliche kardiorespiratorische Probleme und planen Sie ein alternatives Atemwegsmanagement, falls die endotracheale Intubation nicht gelingt.
 - Kompetente Helfer sollen den (frühzeitigen) Einsatz der Videolaryngoskopie in Betracht ziehen, wenn sich eine direkte Laryngoskopie voraussichtlich schwierig gestalten wird.
- Nach der Intubation ist die Bestätigung der richtigen Lage obligatorisch. Die richtige Lage soll klinisch und, wenn möglich, durch eine Bildgebung bestätigt werden. Verwenden Sie die Kapnographie bei allen intubierten Kindern, um Obstruktion, Fehllagen oder Dislokationen frühzeitig zu erkennen.
- **Supraglottische Atemwege – SGA** (wie etwa Larynxmasken der 2./3. Generation, I-Gel) können eine alternative Methode zur Atemwegssicherung und Beatmung sein, obwohl sie die Atemwege nicht vollständig vor Aspiration schützen. Ein SGA ist einfacher einzuführen als ein Endotrachealtubus und soll nur von einem kompetenten Helfer platziert werden.
- Die plötzliche rasche Verschlechterung der Beatmungssituation eines Kindes (über Maske oder ET) ist ein zeitkritisches Ereignis, das sofortiges Handeln erfordert. Denken Sie in diesen Situationen an das Akronym DOPES:
 - **D** = Dislokation (ET, Maske)
 - **O** = Obstruktion (ET, Atemwege – Kopfposition)
 - **P** = Pneumothorax
 - **E** = Equipment/Geräte (Sauerstoff, [Beatmungs-]Schläuche, Anschlüsse, Ventile)
 - **S** = Stomach (Überblähung des Magens)

Management des Status asthmaticus

- Das Erkennen eines schweren Asthmaanfalls basiert auf der klinischen Beurteilung, einer kurzen Anamnese sowie der Überwachung der SpO₂.
 - Die Bestimmung der Lungenfunktion (PEF oder PEV1) ist bei Kindern > 6 Jahren empfehlenswert, wenn diese ohne Verzögerung der Behandlung leicht gemessen werden kann.
 - Die arterielle Blutgasanalyse stellt keine Routinemaßnahme dar, kann jedoch informativ sein, wenn das Kind nicht auf die Behandlung anspricht oder sich verschlechtert. Die Sauerstoffgabe soll während der Probenentnahme fortgesetzt

werden. Aufgrund ausreichender Kompensation kann das PaCO₂ anfänglich normal oder verringert sein. Eine Hyperkapnie ist ein Zeichen der Dekompensation.

- Eine Röntgenaufnahme des Brustkorbs stellt keine Routinemaßnahme dar, kann jedoch angezeigt sein, wenn der Verdacht auf eine alternative Diagnose oder eine Komplikation besteht.
- Eine zeitnahe, aggressive, leitlinienkonforme Behandlung des Status asthmaticus ist notwendig:
 - Sorgen Sie für eine angenehme Umgebung und Körperposition. Sedativa sollen, auch bei Agitation, vermieden werden.
 - Titrieren Sie, wenn notwendig, zusätzlichen Sauerstoff, um eine SpO₂ von 94–98 % zu erreichen. Geben Sie Sauerstoff in hoher Dosis, wenn die SpO₂ nicht gemessen werden kann, allerdings nur bis eine Titration möglich ist.
 - Verwenden Sie kurzwirksame Beta-2-Agonisten (SABA) über einen Inhalator mit Spacer (z. B. Salbutamol 2–10 Hübe) oder einen Vernebler (z. B. Salbutamol 2,5–5 mg [0,15 mg/kgKG]). Passen Sie die Dosis an den Therapieerfolg an und wiederholen Sie den Vorgang nach Bedarf (bis hin zu einer kontinuierlichen Therapie in der ersten Stunde). Die Wirkung von SABA beginnt innerhalb von Sekunden und erreicht ihr Maximum nach 30 min (Halbwertszeit 2–4 h). Fügen Sie kurz wirkende Anticholinergika (z. B. Ipratropiumbromid 0,25–0,5 mg) entweder vernebelt oder als Inhalator mit Spacer hinzu.
 - Geben Sie systemische Kortikosteroide innerhalb der ersten Stunde entweder oral oder intravenös (i.v.). Die Anwender sollen das ihnen am meisten vertraute Kortikoid verwenden (z. B. Prednisolon 1–2 mg/kgKG, max. 60 mg/Tag).
 - Erwägen Sie die Gabe von i.v. Magnesiumsulfat bei schwerem und lebensbedrohlichem Status asthmaticus. Geben Sie eine Einzeldosis von 50 mg/kgKG über 20 min (max.

2 g). Bei Kindern kann alternativ isotones Magnesiumsulfat als vernebelte Lösung verwendet werden (2,5 ml 250 mmol/l; 150 mg).

- Zusätzliche Medikamente können von kompetenten Helfern in Betracht gezogen werden, z. B. Ketamin i.v., Aminophyllin i.v. usw. Die Helfer sollen sich bewusst sein, dass die i.v. Gabe von SABA ein erhebliches Risiko für Elektrolytentgleisungen, Hyperlaktämie und vor allem Herz-Kreislauf-Versagen birgt. Bei Gabe eines solchen Medikaments soll das Kind sorgfältig überwacht werden.
- Antibiotika werden nur empfohlen, wenn Hinweise auf eine bakterielle Infektion vorliegen.
- Es gibt keinen Platz für routinemäßiges, systemisches oder lokales Adrenalin bei Asthma. Eine Anaphylaxie soll als alternative Diagnose bei allen Kindern mit plötzlich auftretenden Symptomen ausgeschlossen werden.
- Wenn verfügbar, sollen Sie eine NIV oder HFNC-Therapie bei Kindern mit Status asthmaticus in Betracht ziehen, wenn eine Sauerstoffgabe benötigt wird, die über die Standard-FiO₂ hinausgeht und/oder das Kind nicht auf die Initialtherapie anspricht.
- Schwere Erschöpfung, Bewusstseinsverschlechterung, schlechter Lufteintritt, sich verschlechternde Hypoxämie und/oder Hyperkapnie und ein Kreislaufstillstand sind Indikationen für eine endotracheale Intubation. Die mechanische Beatmung eines Kindes mit Status asthmaticus ist äußerst schwierig, es soll frühzeitig fachkundige Hilfe eingeholt werden. Begrenzen Sie das Tidalvolumen und die Atemfrequenz und verwenden Sie eine längere Expirationszeit.

Management der Anaphylaxie

- Die frühzeitige Diagnose einer Anaphylaxie ist von entscheidender Bedeutung und ist maßgeblich für die erfolgreiche weitere Behandlung:
 - Akuter Ausbruch einer Krankheit (Minuten bis Stunden) mit Be-

teiligung der Haut und/oder der Schleimhaut und mindestens einer der folgenden Symptome:

- a. Respiratorische Symptome, z. B. Dyspnoe, Bronchospasmus, Stridor, reduzierter PEF, Hypoxämie
- b. Niedriger Blutdruck oder damit einhergehende Symptome einer Endorganfunktionsstörung, z. B. Kollaps, Synkope
- c. Schwere gastrointestinale Symptome, insbesondere nach Exposition gegenüber Allergenen, die nicht mit Lebensmitteln in Zusammenhang stehen („non-food allergens“)

ODER

- Akuter Beginn (Minuten bis mehrere Stunden) mit Hypotonie oder Bronchospasmus oder laryngealer Beteiligung nach Exposition gegenüber einem bekannten oder wahrscheinlichen Allergen, selbst wenn keine typische Hautbeteiligung vorliegt.
- Bei Verdacht auf Anaphylaxie soll sofort **intramuskuläres (i.m.) Adrenalin** (anterolaterale Mitte des Oberschenkels, nicht subkutan) verabreicht werden. Richten Sie die weitere Therapie und die notwendigen Interventionen nach dem ABCDE-Schema: Hilferuf, Atemwegsmanagement, Sauerstofftherapie, Beatmungsunterstützung, venöser Zugang, repetitive Flüssigkeitsboli und Katecholamintherapie.
 - Eine frühzeitige Verabreichung von i.m. Adrenalin kann auch für mildere allergische Symptome bei Kindern mit Anaphylaxie in der Vorgeschichte in Betracht gezogen werden.
 - Die Dosis für i.m. Adrenalin beträgt 0,01 mg/kgKG. Diese kann mit einer Spritze (1 mg/ml Lösung) verabreicht werden. In vielen Fällen ist automatisch injizierbares Adrenalin verfügbar (0,15 mg [< 6 Jahre] – 0,3 mg [6–12 Jahre] – 0,5 mg [> 12 Jahre]).
 - Wenn sich die Symptome nicht schnell verbessern, kann die i.m. Adrenalingabe nach 5–10 min wiederholt werden.

- Bei refraktären Anaphylaxien können kompetente Anwender die Verwendung von i.v. oder i.o. Adrenalin in Betracht ziehen. Vermeiden Sie dabei Dosierungsfehler.
- Vermeiden Sie eine weitere Exposition gegenüber dem auslösenden Agens. Bei einem Bienenstich soll der Stachel so schnell wie möglich entfernt werden.
- Erkennen Sie einen Kreislaufstillstand und starten Sie die Standard-CPR, wenn dies notwendig ist. Helfer, die nur Zugang zu i.m. Adrenalin haben, können die i.m. Gabe in Betracht ziehen, wenn ein Kreislaufstillstand eingetreten ist.
- Erwägen Sie eine frühzeitige endotracheale Intubation bei Beeinträchtigung der Atmung. Antizipieren Sie Atemwegsschwellungen. Das Atemwegsmanagement bei Anaphylaxie kann sehr kompliziert sein und eine frühzeitige Unterstützung durch hochkompetente Ärzte ist notwendig.
- Berücksichtigen Sie zusätzlich zu i.m. Adrenalin die Verwendung von
 - inhalativem SABA (und/oder inhalatives Adrenalin) gegen Bronchospasmus;
 - i.v. oder orale H1- und H2-Blocker (Antihistaminika) zur Linderung subjektiver Symptome (insbesondere Hautsymptome);
 - Glukokortikosteroide (z. B. Methylprednisolon 1–2 mg/kgKG) nur für Kinder, die eine längere Beobachtung benötigen;
 - spezifische weitere Therapieansätze.
- Beobachten Sie nach der Behandlung weitere mögliche späte oder zweiphasige Symptomverläufe. Kinder, die ohne einen anderen Risikofaktor gut auf eine Dosis i.m. Adrenalin angesprochen haben, können im Allgemeinen nach 4–8 h entlassen werden. Eine längere Beobachtung (12–24 h) wird für Kinder mit zweiphasiger oder langwieriger Anaphylaxie oder Asthma in der Vorgeschichte empfohlen, die mehr als eine Dosis i.m. Adrenalin benötigten oder eine Verzögerung zwischen den Symptomen und der ersten Adrenalindosis von mehr als 60 min hatten.

- Untersuchungen zur Feststellung des Auslösers der allergischen Reaktion/Anaphylaxie sollen unternommen werden. Nehmen Sie ohne Verzögerung der Behandlung bei Beginn der Therapie und idealerweise 1–2 h später Blutproben zur Bestimmung der Mastzelltryptase ab. Überweisen Sie die Patienten zur Nachsorge und Weiterbetreuung an einen spezialisierten Arzt. Jedem Kind, das eine anaphylaktische Reaktion hatte, soll automatisch injizierbares Adrenalin verschrieben werden und es soll Anweisungen/Schulungen zur Anwendung bekommen (sowohl das Kind, als auch seine Betreuer/Eltern).

Management des Kreislaufversagens (C)

- Versorgungssysteme sollen spezifische Protokolle für die Behandlung von Kindern mit Schock implementieren, inklusive Strategien zur Früherkennung und rechtzeitigen Notfallbehandlung.
- Das Management eines Kindes mit Kreislaufversagen muss unter Berücksichtigung von Ätiologie, Pathophysiologie, Alter, Umständen, Komorbiditäten und verfügbaren Ressourcen auf den Einzelfall angepasst werden. Der Übergang von einem kompensierten zu einem dekompenzierten Zustand kann schnell und unvorhersehbar sein. Kein einzelner Befund kann die Schwere des Kreislaufversagens zuverlässig identifizieren und/oder als Erfolgskontrolle der Behandlung verwendet werden. Die Reevaluation soll häufig und zumindest nach jeder durchgeführten Maßnahme erfolgen. Berücksichtigen Sie unter anderem klinische Symptome, MAD, Laktatverlauf, Harnmenge und, für kompetente Helfer, Ultraschallbefunde. Kompetente Anwender können auch weitere hämodynamische Variablen wie den Herzindex, den systemischen Gefäßwiderstand („systemic vascular resistance“, SVR) und die zentralvenöse Sauerstoffsättigung (ScvO₂) messen; dies hat jedoch in der ersten Stunde der Versorgung keine Priorität.
- Die Behandlung eines Kindes mit Kreislaufversagen gemäß dem AB-CDE-Algorithmus soll immer eine sofortige Beurteilung der Atemwege, der Oxygenierung und der Ventilation umfassen.
- Gefäßzugang:
 - Periphervenöse Zugänge stellen den Gefäßzugang der ersten Wahl dar. Kompetente Helfer können die Anlage durch die Verwendung der Sonographie unterstützen. Begrenzen Sie im Notfall die Zeit für die Anlageversuche auf höchstens 5 min (2 Versuche). Alternative Zugangswege können priorisiert werden, wenn die Erfolgchancen des i.v. Zugangs als minimal eingestuft werden.
 - Für Säuglinge und Kinder stellt der **intraossäre (i.o.) Zugang** den primären alternativen Zugangsweg dar. Alle professionellen Helfer, die in die Situation kommen könnten, lebensrettende Maßnahmen bei Kindern anwenden zu müssen, sollen in der Anlage von i.o. Zugängen trainiert sein und regelmäßig mit den jeweils verwendeten Techniken (und verschiedenen Punktionsstellen) geschult werden. Bei jedem nicht bewusstlosen Kind soll zur Anlage eine adäquate Analgesie erfolgen. Verwenden Sie eine Nadel der richtigen Größe. Die meisten Standardinfusomaten sind nicht zur Infusion über i.o. Zugänge geeignet, weshalb eine manuelle Infusion oder ein Druckbeutel verwendet werden soll. Überprüfen Sie die korrekte Lage (fester Halt) und überwachen Sie ein mögliches Extra-/Paravasat, welches zum Kompartmentsyndrom führen könnte.
- Flüssigkeitstherapie:
 - Geben Sie bei Kindern im Schock frühzeitig einen oder mehrere Flüssigkeitsboli von **10 ml/kgKG**. In der ersten Stunde der Behandlung des (septischen) Schocks können wiederholte Flüssigkeitsboli von bis zu 40–60 ml/kgKG erforderlich sein.
 - Eine Reevaluation soll nach jedem Flüssigkeitsbolus erfolgen. Ver-

meiden Sie wiederholte Boli bei Kindern, die keine Zeichen einer verminderten Perfusion haben, Hinweise für eine Flüssigkeitsüberladung oder ein kardiales Versagen zeigen. Klinische Symptome sollen mit laborchemischen Werten und wenn möglich mit Bildgebung, wie Herz- und Lungenultraschall, kombiniert werden, um den Bedarf an zusätzlichen Volumenboli zu ermitteln. Bei wiederholten benötigten Flüssigkeitsboli sollen frühzeitig vasoaktive Medikamente (Katecholamine) und eine Atemunterstützung in Betracht gezogen werden. In Situationen, in denen keine intensivmedizinische Versorgung verfügbar ist, scheint ein restriktiveres Volumenmanagement ratsam.

- **Balancierte Vollelektrolytlösungen** stellen, falls verfügbar, die erste Wahl dar. Eine physiologische Kochsalzlösung (NaCl 0,9%) ist bei Nichtvorhandensein eine akzeptable Alternative. Die Gabe von Albumin stellt eine Flüssigkeitstherapie der zweiten Wahl dar, kann allerdings für Kinder mit Sepsis, insbesondere bei Malaria oder Dengue-Fieber, in Erwägung gezogen werden. Ohne Hinweis auf einen hämorrhagischen Schock werden Blutprodukte nur dann eingesetzt, wenn die Laborwerte unter akzeptable Minimalwerte fallen.
- Bei Kindern im **hypovolämischen nichthämorrhagischen Schock** muss schnell die Gabe von Flüssigkeitsboli erfolgen. Andernfalls kann das Flüssigkeitsmanagement („fluid resuscitation“) von stark dehydrierten Kindern im Allgemeinen schrittweise durchgeführt werden (bis zu beispielsweise 100 ml/kgKG über 8 h).
- Bei **hämorrhagischem Schock** sollen die kristalloiden Boli auf ein Minimum beschränkt werden (max. 20 ml/kg). Erwägen Sie früh die Gabe von Blutprodukten – oder, falls verfügbar, Vollblut. Bei Kindern mit schwerem Trauma und Kreislaufversagen soll die

Verbesserung der Gerinnung angestrebt werden. Hierzu zählen in der Substitution die Berücksichtigung eines adäquaten Verhältnisses zwischen Plasma und Erythrozytenkonzentrat, Beachtung der Thrombozyten, des Fibrinogens und weiterer Gerinnungsfaktoren. Vermeiden Sie wenn möglich eine Flüssigkeitsüberladung und passen Sie Ihr Flüssigkeitsmanagement dem Ziel an, eine adäquate Gewebepfusion aufrechtzuerhalten, bis die endgültige Blutungskontrolle erfolgt ist oder es zu einem spontanen Blutungsstopp gekommen ist. Eine permissive Hypotonie (MAD unter der 5. Perzentile für das Alter) kann nur bei Kindern durchgeführt werden, bei denen kein Risiko eines gleichzeitig vorliegenden SHT besteht.

- Geben Sie bei allen Kindern nach einem schweren Trauma oder bei einer relevanten Blutung so schnell wie möglich Tranexamsäure (TxA; jedoch spätestens innerhalb von 3 h nach Ereignis). Erwägen Sie die Gabe von TxA bei Kindern mit isoliertem mittelschwerem SHT (GCS 9–13) ohne Pupillenanomalien. Verwenden Sie eine Initialdosis von 15–20 mg/kgKG (max. 1 g), gefolgt von einer Infusion von 2 mg/kgKG/h für mindestens 8 h (max. 1 g) oder bis die Blutung sistiert.
- **Vasoaktive Medikamente – Katecholamine/Inotropika:**
 - Die Gabe von vasoaktiven Medikamenten soll bei Kindern im Kreislaufversagen frühzeitig als kontinuierliche Infusion (verdünnt gemäß lokalem Protokoll) über einen zentralen oder peripheren Zugang erfolgen, wenn sich der klinische Zustand nach mehreren Flüssigkeitsboli nicht verbessert. Es soll auf standardisierte Verdünnung, Dosierung und Infusionsmanagement geachtet werden. Verwenden Sie vorzugsweise eine eigene Infusionsleitung mit ausreichendem Durchfluss, um versehentliche Boli oder plötzliche Dosisschwankungen zu vermeiden. Titrieren Sie diese Medikamente

basierend auf einem gewünschten Ziel-MAD, der sich je nach Ursache, Alter und Therapieansprechen des Patienten unterscheiden kann. Auf einer Intensivstation können auch andere hämodynamische Variablen berücksichtigt werden.

- Verwenden Sie entweder Noradrenalin oder Adrenalin als Inotropika und Vasokonstriktoren der ersten Wahl und Dobutamin oder Milrinon als Inotropika und Vasodilatoren der ersten Wahl. Dopamin soll nur in Situationen in Betracht gezogen werden, in denen weder Adrenalin noch Noradrenalin verfügbar sind. Alle ALS-Helfer sollen die medizinische Kompetenz besitzen, die Katecholamintherapie in der ersten Stunde der Kreislaufstabilisierung bei einem Kind zu etablieren bzw. einzuleiten.
- Vasoaktive Medikamente sollen auch bei hypovolämischen Schock verwendet werden, wenn dieser nicht adäquat auf die Flüssigkeitsgabe anspricht – insbesondere bei Verlust der sympathomimetischen Komponente, z. B. während einer Narkoseeinleitung – sowie bei Kindern im hypovolämischen Schock und gleichzeitigem SHT. Ein ausreichend hoher MAD ist erforderlich, um einen angemessenen zerebralen Perfusionsdruck zu erreichen (z. B. MAD über der 50. Perzentile). Beurteilen und unterstützen Sie gegebenenfalls die weitere Herzfunktion.
- **Zusätzliche Therapien bei septischem Schock:**
 - Erwägen Sie eine erste Gabe von Hydrokortison in Stressdosis (1–2 mg/kgKG) bei Kindern im septischen Schock, wenn diese nicht auf Volumengaben und vasoaktive Therapie ansprechen – unabhängig von laborchemischen oder anderen Parametern.
 - Geben Sie Hydrokortison in Stressdosis bei Kindern im septischem Schock, die eine akute oder chronische Steroidtherapie, Störungen der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse, eine angeborene Nebennierenhypoplasie oder

eine andere kortikosteroidbedingte Endokrinopathie aufweisen oder kürzlich mit Ketoconazol oder Etoimidat behandelt wurden.

- Beginnen Sie so bald wie möglich nach der initialen Beurteilung und Behandlung mit der Gabe von Breitbandantibiotika. Dies erfolgt vorzugsweise innerhalb der ersten Stunde der Behandlung. Wenn die Entnahme von Blutkulturen (oder Blutproben für die PCR) ohne Verzögerung der Therapie erfolgen kann, soll diese vor Beginn der Antibiotikagabe erfolgen.
- **Obstruktiver Schock bei Kindern:**
 - Der Spannungspneumothorax erfordert eine sofortige Therapie durch eine Notfallthorakotomie oder Nadeldekompression. Verwenden Sie den Ultraschall, um die Diagnose zu bestätigen, wenn dies die Behandlung nicht verzögert. Verwenden Sie für beide Techniken den 4. oder 5. Interkostalraum (ICR) der mittleren Axilliarlinie als primäre Punktionsstelle. Bei Kindern stellt der 2. ICR in der Medioklavikularlinie eine akzeptable Alternative dar. Die Erweiterung auf eine Standardthoraxdrainage soll so bald wie möglich erfolgen.
 - Versorgungssysteme, die keine sofortige Thorakotomie durchführen, sollen die Nadeldekompression zumindest als Notfallmaßnahme bei schweren pädiatrischen Traumata in Betracht ziehen und ihre Helfer dementsprechend schulen.
 - Verwenden Sie, falls verfügbar, den Ultraschall zur Diagnose der Herzbeutelamponade (Perikardtamponade). Eine Herzbeutelamponade führt zu einem obstruktiven Schock und erfordert eine sofortige Entlastung durch eine Perikardiozentese, Thorakotomie oder (Re-)Sternotomie, je nach Umständen und verfügbarem Fachwissen. Abhängig von der Ursache sollen alle Versorgungseinrichtungen entsprechende Protokolle über die Durchführung dieser Maßnahme vorhalten.
- **Instabile primäre Bradykardie:**

- Erwägen Sie die Gabe von Atropin (20 µg/kgKG; max. 0,5 mg pro Dosis) nur bei Bradykardien, die durch eine Vagusaktivierung verursacht werden.
- Erwägen Sie im Fall einer Bradykardie mit Kreislaufversagen aufgrund eines vollständigen AV-Blocks oder einer Sinusknotendysfunktion eine transthorakale (Notfall-)Schrittmachertherapie. Expertenhilfe soll frühzeitig eingeholt werden.
- **Instabile primäre Tachykardie:**
 - Bei Kindern mit dekompensiertem Kreislaufversagen aufgrund einer supraventrikulären (SVT) oder ventrikulären Tachykardie (VT) stellt die *sofortige synchronisierte elektrische Kardioversion* mit einer initialen Energiedosis von 1 J/kg Körpergewicht die Therapie der Wahl dar. Verdoppeln Sie die Energiedosis für jeden weiteren Versuch bis auf max. 4 J/kgKG. Wenn möglich, soll dies in Kooperation mit Experten erfolgen. Sorgen Sie bei Kindern, die noch nicht bewusstlos sind, für eine angemessene Analgosedierung gemäß einem lokalen Protokoll. Überprüfen Sie nach jedem Kardioversionsversuch, ob weiterhin Lebenszeichen vorhanden sind.
 - Bei Kindern mit einer vermuteten SVT, die noch nicht dekompensiert ist, können vagale Manöver versucht werden (z. B. Eisapplikation, modifizierte Valsalva-Techniken o. ä.). Wenn dies keine unmittelbare Wirkung hat, soll die Gabe von Adenosin i.v. erfolgen. Verabreichen Sie möglichst zügig einen schnellen Bolus von 0,1 bis 0,2 mg/kgKG (max. 6 mg) mit sofortiger NaCl-0,9%-Spülung über einen großlumigen Venenzugang. Stellen Sie dabei sicher, dass ein EKG-Rhythmusstreifen für eine spätere Expertenbewertung aufgezeichnet wird. Insbesondere bei jüngeren Kindern ist eine höhere Initialdosis vorzuziehen. Bei persistierender SVT soll die Gabe von Adenosin nach mindestens 1 min in einer höheren Dosis (0,3 mg/kgKG, max.

12–18 mg) wiederholt werden. Seien Sie vorsichtig mit der Gabe von Adenosin bei Kindern mit bekannter Erkrankung des Sinusknotens, einem Präexzitationssyndrom, nach Herztransplantation oder bei schwerem Asthma. In diesen Fällen oder wenn keine anhaltende Wirkung von Adenosin erreicht wird, können kompetente Helfer (mit Expertenunterstützung) alternative Medikamente verabreichen.

- Breitkomplextachykardien können entweder eine VT oder SVT mit Schenkelblockbild oder antegraden Überleitung über eine zusätzliche Bahn sein. Falls der Mechanismus der Arrhythmie nicht vollständig verstanden wird, soll eine Arrhythmie mit breiten QRS-Komplexen wie eine VT behandelt werden. Bei einem hämodynamisch stabilen Kind kann die Reaktion auf ein Vagusmanöver einen Hinweis auf den für die Arrhythmie verantwortlichen zugrundeliegenden Mechanismus liefern, und kompetente Helfer (mit Expertenhilfe) können anschließend eine pharmakologische Therapie versuchen. Auch bei stabilen Patienten soll immer eine elektrische Kardioversion in Betracht gezogen werden. Bei Torsade-de-pointes-Tachykardien ist Magnesiumsulfat i.v. mit einer Dosierung von 50 mg/kgKG i.v. indiziert.

Management von neurologischen und anderen medizinischen Notfällen (DE)

Neurologische Notfälle sollen schnell erkannt und behandelt werden, da sich die Prognose durch sekundäre Schädigungen (z. B. aufgrund von Hypoxie, Hypotonie o. ä.) sowie Behandlungsverzögerungen verschlechtert. Nach dem ABCDE-Schema umfasst eine solche Behandlung ein adäquates Atemwegsmanagement, ausreichende Sauerstoffversorgung und gegebenenfalls eine Beatmung sowie eine Flüssigkeitstherapie.

Status epilepticus

- Erkennen und behandeln Sie zugrundeliegende Diagnosen und auslösende Ursachen, wie Hypoglykämie, Elektrolytstörungen, Intoxikationen, Infektionen und neurologische Erkrankungen, sowie systemische Komplikationen, wie Atemwegsobstruktionen, Hypoxämie oder Schock.
- Wenn die Anfälle länger als 5 min anhalten, soll die Gabe einer ersten Dosis eines Benzodiazepins erfolgen. In bestimmten Situationen kann auch eine sofortige Behandlung in Betracht gezogen werden. Welches Benzodiazepin über welchen Weg verabreicht werden soll, hängt von der Verfügbarkeit, der jeweiligen Situation, den lokalen Präferenzen und dem Fachwissen der Helfer ab. Nichtintravenöse-Benzodiazepine sollen verwendet werden, wenn (noch) kein i.v. Zugang verfügbar ist. Ausreichende Dosierungen – wie hier vorgeschlagen – sind essenziell:
 - Midazolam i.m. 0,2 mg/kgKG (max. 10 mg) oder 5 mg bei 13–40 kgKG, 10 mg > 40 kgKG); intranasal/bukkal 0,3 mg/kgKG; i.v. 0,15 mg/kgKG (max. 7,5 mg)
 - Lorazepam i.v. 0,1 mg/kgKG (max. 4 mg)
 - Diazepam i.v. 0,2–0,25 mg/kgKG (max. 10 mg)/rektal 0,5 mg/kgKG (max. 20 mg)
- Wenn die Anfälle nach weiteren 5 min persistieren, verabreichen Sie eine zweite Dosis eines Benzodiazepins und bereiten Sie ein langwirksames Medikament der zweiten Stufe vor. Holen Sie Expertenhilfe.
- Spätestens 20 min nach Beginn der Anfälle sollen Antiepileptika der zweiten Wahl verabreicht werden. Die Wahl des Arzneimittels hängt wiederum vom Kontext, der Verfügbarkeit und dem Fachwissen des Helfers ab. Eine adäquate Dosierung ist wichtig:
 - Levetiracetam 40–60 mg/kgKG i.v. (neuere Publikationen deuten auf eine höhere Dosis hin; max. 4,5 g über 15 min)

- Phenytoin 20 mg/kg i.v. (max. 1,5 g über 20 min oder alternativ Phosphénytoin)
- Valproinsäure 40 mg/kgKG i.v. (max. 3 g; über 15 min; die Gabe soll bei vermutetem Lebersversagen oder Stoffwechselerkrankungen – die bei Säuglingen und jüngeren Kindern niemals ausgeschlossen werden können – sowie bei schwangeren Jugendlichen vermieden werden).
- Phenobarbital i.v. (20 mg/kgKG über 20 min) stellt eine sinnvolle Alternative dar, wenn keine der drei empfohlenen Therapien verfügbar ist.
- Wenn die Anfälle persistieren, ziehen Sie ein zusätzliches Medikament der zweiten Wahl in Betracht, nachdem das erste Zweitlinienmedikament verabreicht wurde.
- Spätestens 40 min nach Beginn der Anfälle sollen Narkosemedikamente wie Midazolam, Ketamin, Pentobarbital/Thiopental oder Propofol in Betracht gezogen werden, vorzugsweise unter kontinuierlicher EEG-Überwachung und durch einen entsprechend kompetenten Helfer. Bereiten Sie sich auf eine adäquate Unterstützung der Oxygenierung, Ventilation und Perfusion vor.
- Der nichtkonvulsive Status epilepticus kann nach Beendigung der klinischen Anfälle fortbestehen. Alle Kinder, die das Bewusstsein nicht vollständig wiedererlangen, benötigen eine EEG-Überwachung und eine adäquate Therapie.

Hypoglykämie

- Eine Hypoglykämie soll anhand der jeweiligen Situation, der klinischen Symptome und der Messung des Blutzuckers (50–70 mg/dl; 2,8–3,9 mmol/l) erkannt und umgehend behandelt werden. Identifizieren und behandeln Sie auch alle zugrundeliegenden Ursachen. Bei bestimmten Stoffwechselerkrankungen kann eine spezielle Dosierung einer i.v. Glukosetherapie angezeigt sein.
- Eine leichte, asymptotische Hypoglykämie kann mit einer Standardglukosgabe behandelt werden,

entweder durch Glukosedauerinfusion (6–8 mg/kgKG/min) oder durch die Gabe von oraler, schnell wirksamer Glukose (0,3 g/kgKG Tabletten oder Äquivalent), gefolgt von einer zusätzlichen Kohlenhydrataufnahme, um ein Wiederauftreten zu verhindern.

- Schwere Hypoglykämien bei Kindern (< 50 mg/dl (2,8 mmol/l) mit neurologischen Symptomen) erfordern:
 - Glukose i.v. 0,3 g/kgKG im Bolus; vorzugsweise als 10 % (100 mg/ml; 3 ml/kgKG) oder 20 %ige Lösung (200 mg/ml; 1,5 ml/kgKG)
 - Wenn keine i.v. Glukose verfügbar ist, kann Glukagon als vorübergehende Alternative verabreicht werden, entweder i.m. oder subkutan (0,03 mg/kgKG oder 1 mg > 25 kg; 0,5 mg < 25 kg) oder intranasal (3 mg; 4–16 Jahre).
 - Überprüfen Sie den Blutzucker alle 10 min nach der Behandlung erneut und wiederholen Sie die Behandlung, wenn das Ansprechen unzureichend ist. Ziel ist ein Anstieg von mindestens 50 mg/dl (2,8 mmol/l) und/oder ein Zielblutzuckerspiegel von 100 mg/dl (5,6 mmol/l).
 - Starten Sie eine Glukosedauerinfusion (6–8 mg/kgKG/min), um den Katabolismus umzukehren und einen ausreichenden Blutzucker aufrechtzuerhalten.

Hypokaliämie

- Bei schwerer Hypokaliämie (< 2,5 mmol/l) in einer Peri-arrest-Situation ist die i.v. Gabe von 1 mmol/kgKG als Bolus (max. 30 mmol) über einen Zeitraum von mindestens 20 min bei einem überwachten Kind indiziert und kann gegebenenfalls wiederholt werden, bis das Serumkalium über 2,5 mmol/l liegt. Eine versehentliche Hypokaliämie soll vermieden werden. Zusätzlich soll auch Magnesiumsulfat i.v. 30–50 mg/kgKG gegeben werden.
- In allen anderen Fällen wird – wenn möglich – die enterale Gabe von Kalium bevorzugt. Die mögliche Dosis ist abhängig vom klinischen Erscheinungsbild, dem gemessenen

Laborwert und dem zu erwartenden Anstieg durch die Substitution.

Hyperkaliämie

- Um den Schweregrad der Hyperkaliämie zu bewerten, berücksichtigen Sie den Kaliumwert in Zusammenschau mit den zugrundeliegenden Ursachen und den dazu beitragenden Faktoren sowie dem Vorhandensein kaliumbedingter EKG-Veränderungen. Beseitigen oder behandeln Sie die zugrundeliegenden Ursachen und Faktoren so schnell wie möglich.
- Passen Sie die Notfallbehandlung an die spezifischen Bedürfnisse des Kindes an. Erwägen Sie die frühzeitige Zuhilfenahme von Experten. Bei Kindern mit akuter symptomatischer lebensbedrohlicher Hyperkaliämie geben Sie:
 - Kalzium (z. B. Kalziumglukonat 10 % 0,5 ml/kgKG, max. 20 ml) zur Membranstabilisierung. Dies funktioniert innerhalb von Minuten und der Effekt hält 30–60 min an.
 - Schnell wirkendes Insulin mit Glukose zur Umverteilung von Kalium. Dies ist nach etwa 15 min wirksam und erreicht nach 30 bis 60 min seinen Spitzenwert. Die Wirkung hält für 4–6 h an (z. B. 0,1 U/kgKG Insulin, Mischungsverhältnis 1 IE Insulin in 25 ml Glukose 20%iger Lösung). Bei einem Blutzuckerspiegel von > 250 mg/dl (13,9 mmol/l) bei Therapiebeginn ist keine Glukosegabe erforderlich. Eine wiederholte Gabe kann erforderlich werden. Um eine Hypoglykämie zu vermeiden, beginnen Sie nach der Behandlung der Hyperkaliämie eine Glukoseinfusion ohne Insulingabe. Überwachen Sie den Blutzuckerspiegel regelmäßig.
 - Eine Vernebelung von Beta-Agonisten in hoher Dosis (z. B. die 5-fache Bronchodilatationsdosis). Beachten Sie, dass die maximale Wirkung erst nach 90 min erreicht wird.
 - Natriumbikarbonat 1 mmol/kgKG i.v. (gegebenenfalls wiederholen) bei metabolischer Azidose (pH < 7,2) und/oder Atem-Kreislauf-Stillstand; der Wirkeintritt

von Natriumbikarbonat ist langsam (Stunden).

- Setzen Sie die Maßnahmen zur Kaliumumverteilung fort, bis die weitere Behandlung Wirkung zeigt. Die Kaliumentfernung kann durch kaliumbindende Substanzen, z. B. Furosemid (bei gut hydrierten Kindern mit erhaltener Nierenfunktion) und/oder Dialyse erfolgen.

Hyperthermie

- In Fällen eines **Hitzschlags** (d. h. einer zentralen Körpertemperatur $\geq 40\text{--}40,5^\circ\text{C}$ mit Funktionsstörung des Zentralnervensystems [ZNS]):
 - Die Überwachung der zentralen Körpertemperatur soll so schnell wie möglich erfolgen (rektal, ösophageal, über die Blase oder intravaskulär).
 - Die präklinische Behandlung besteht aus einer vollständigen Behandlung nach ABCDE-Schema und einer schnellen aggressiven Abkühlung. Entfernen Sie das Kind von der Wärmequelle. Entkleiden Sie das Kind und sorgen Sie für eine Kühlung mittels kalter Luft und Oberflächenkühlung durch Verdunstungskälte (z. B. mit kaltem Wasser). Verwenden Sie Eisbeutel und Cool-Packs. Sorgen Sie für eine frühzeitige externe Kühlung durch Verdunstung. Erwägen Sie die Immersion in kaltes Wasser für Jugendliche und junge Erwachsene.
 - Zur weiteren Kühlung im Krankenhaus kann das Kind auf einer Kühlmatte gelagert werden. Es werden Kühlbeutel auf Hals, Achsel und Leiste oder alternativ auf die glatten Hautoberflächen im Bereich der Wangen, Handflächen und Fußsohlen gelegt oder kristalloide Infusionslösungen mit Raumtemperatur infundiert. Stoppen Sie die Kühlmaßnahmen, sobald die Körperkerntemperatur 38°C erreicht hat. Benzodiazepine werden empfohlen, um „shivering“, Tremor oder epileptische Anfälle während der Abkühlungsmaßnahmen zu vermeiden. Klassische

fiebersenkende Medikamente sind unwirksam.

- Alle Kinder mit Hitzschlag sollen auf eine (pädiatrische) Intensivstation eingewiesen werden, um eine entsprechende Überwachung zu ermöglichen und die damit verbundenen Organfunktionsstörungen zu behandeln.

Paediatric Basic Life Support

Die Reihenfolge der Maßnahmen des pädiatrischen BLS (PBLs) hängt vom Ausbildungsstand des anwesenden Helfers ab: Diejenigen, die in PBLs (bevorzugter Algorithmus) geschult sind, die, die nur in Erwachsenen-BLS geschult sind, und die, die nicht geschult sind (vom Leitstellendisponenten unterstützte Ersthelfer).

Reihenfolge der Maßnahmen im PBLs

- Sorgen Sie für die Sicherheit von Helfer und Kind. Überprüfen Sie die Reaktion auf verbale und taktile Stimulation (■ **Abb. 2**). Bitten Sie umstehende Personen um Hilfe.
- **Wenn das Kind nicht reagiert**, öffnen Sie die Atemwege und beurteilen Sie die Atmung für nicht mehr als 10 s.
 - Bei Schwierigkeiten mit der Atemwegsöffnung, versuchen sie entweder die Atemwege durch Überstrecken des Kopfes und Anheben des Kinns zu öffnen oder im Fall eines Traumas durch Anwenden des Esmarch-Handgriffs. Wenn unbedingt nötig, kann der Kopf vorsichtig überstreckt werden, bis die Atemwege geöffnet sind.
 - In den ersten Minuten nach einem Kreislaufstillstand kann das Kind weiterhin langsame, einzelne Atemzüge zeigen (Schnappatmung). Wenn Sie Zweifel haben, ob die Atmung normal ist, handeln Sie so, als wäre sie **nicht** normal.
 - Achten Sie auf Atemanstrengungen, hören und fühlen Sie die Luftbewegungen aus Nase und/oder Mund. Wenn es Atemanstrengungen gibt, aber keine Luftbewegung vorhanden ist, ist der Atemweg nicht offen.
 - In Fällen, in denen mehr als ein Helfer zur Verfügung steht, soll

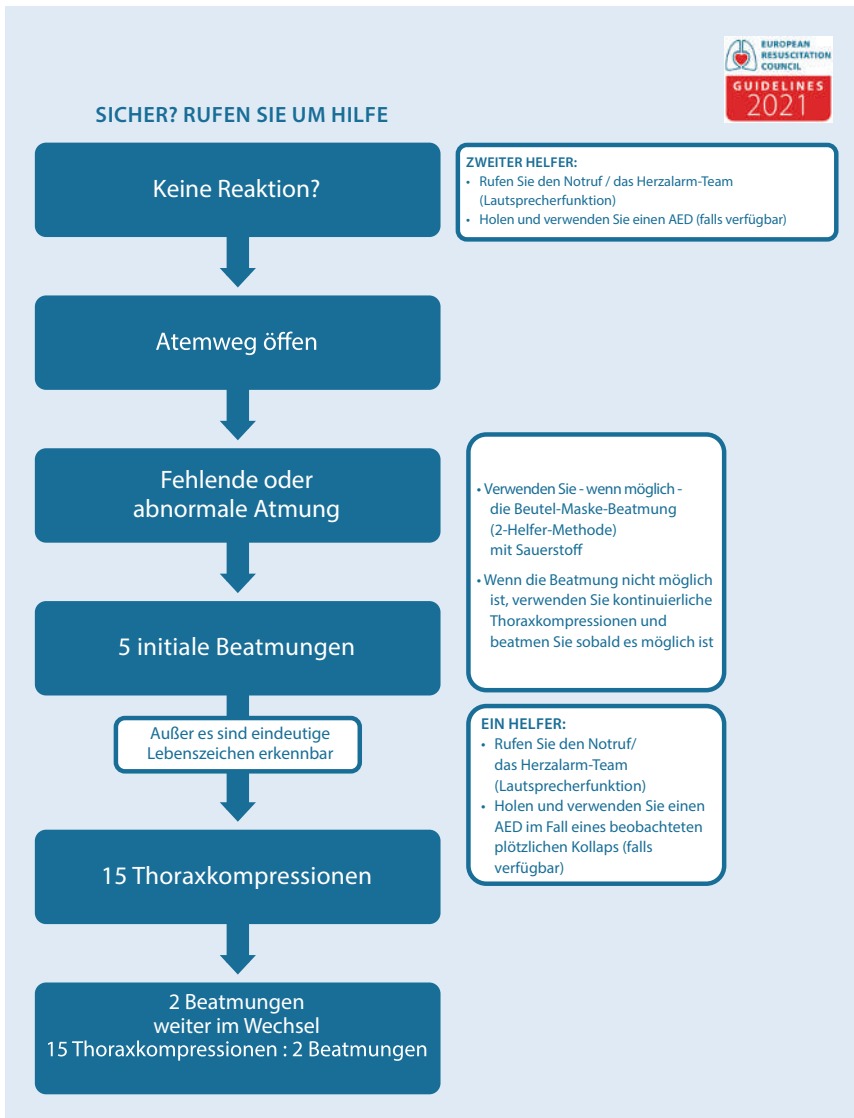


Abb. 2 ▲ Basismaßnahmen des Paediatric Life Supports (PBL)

ein zweiter Helfer sofort nach Erkennen einer Bewusstlosigkeit den Rettungsdienst verständigen, vorzugsweise über die Freisprechfunktion/Lautsprecher eines Mobiltelefons.

- **Bei nicht reagierendem Kind mit fehlender oder abnormer Atmung:** Verabreichen Sie 5 initiale Beatmungen.
 - Achten Sie bei Säuglingen auf eine neutrale Position des Kopfes. Bei älteren Kindern ist eine stärkere Überstreckung des Kopfes erforderlich.
 - Beatmen sie über etwa 1 s lang gleichmäßig, mit einer ausreichenden Luftmenge, über den Mund des

Kindes (oder bei Säuglingen in den Mund und die Nase), mit dem Ziel einer sichtbaren Thoraxhebung.

- Wenn Sie Schwierigkeiten haben, eine effektive Beatmung durchzuführen, kann der Atemweg obstruiert sein (siehe unten): Entfernen Sie alle sichtbaren Obstruktionen. Ein „blinder“ (ohne Anhalt und ohne sichtbare Verlegung) Ausräumversuch des Mundes mit den Fingern soll nicht erfolgen. Positionieren Sie gegebenenfalls den Kopf neu oder passen Sie die Methode zum Öffnen der Atemwege an. Führen Sie 5 Versuche durch, eine effektive Beatmung zu erreichen.

Gehen Sie bei Erfolglosigkeit dann zu Thoraxkompressionen über.

- Kompetente Helfer sollen die Beutel-Maske-Beatmung mit Sauerstoff anstelle einer Mund-zu-Mund-Beatmung (oder Mund-zu-Nase-Beatmung) anwenden, sofern diese verfügbar ist. Bei größeren Kindern können kompetente Helfer auch eine Notfallbeatmungsmaske (z. B. Pocket Mask) zur Beatmung verwenden, wenn kein Beatmungsbeutel verfügbar ist.
- Wenn nur ein Retter mit Mobiltelefon vor Ort ist, soll unmittelbar nach den Initialbeatmungen der Notruf abgesetzt werden (via Lautsprecherfunktion). Danach soll direkt mit dem nächsten Schritt fortgesetzt werden, während auf eine Antwort gewartet wird. Ist kein Mobiltelefon verfügbar, sollen erst eine Minute lang Basismaßnahmen durchgeführt werden, bevor das Kind gegebenenfalls für das Absetzen des Hilferufs verlassen wird.
- Thoraxkompressionen sollen sofort begonnen werden, wenn PBL-Helfer nicht direkt mit den Beatmungen beginnen können oder wollen, und die Beatmung unmittelbar starten, sobald diese durchgeführt werden kann.
- Fahren Sie sofort mit 15 Thoraxkompressionen fort, es sei denn, es gibt deutliche Lebenszeichen (Anzeichen einer vorhandenen Kreislauffunktion, wie Bewegungen, Husten o. ä.). Konzentrieren Sie sich auf durchgehend gute Kompressionen, definiert durch:
 - Frequenz: 100–120/min für Säuglinge und Kinder
 - Tiefe: Komprimieren Sie die untere Hälfte des Sternums um mindestens ein Drittel des anterior-posterioren Durchmessers des Thorax. Die Kompressionen sollen niemals tiefer sein als die 6-cm-Grenze für Erwachsene (etwa Daumenlänge für Erwachsene).
 - Entlastung: Achten Sie auf eine vollständige Entlastung des Thorax zwischen den Kompressionen und vermeiden Sie es, sich zu sehr auf

den Patienten zu lehnen.

Führen Sie die Thoraxkompressionen nach Möglichkeit auf einer harten Oberfläche durch. Bewegen Sie das Kind nur, wenn dies zu einer deutlichen Verbesserung der CPR-Bedingungen (Oberfläche, Zugänglichkeit o.ä.) führt. Ziehen Sie die Kleidung nur aus, wenn sie ihre Thoraxkompressionen stark behindert.

Verwenden Sie vorzugsweise eine thoraxumgreifende Zwei-Daumen-Technik für die Thoraxkompressionen bei Säuglingen – achten Sie dabei auf eine vollständige Entlastung. Einzelhelfer können alternativ eine Zwei-Finger-Technik verwenden.

Verwenden Sie bei Kindern über einem Jahr je nach Größe und Handfläche des Helfers entweder eine Einhand- oder eine Zweihandtechnik. Wenn nur eine Hand für die Kompressionen verwendet wird, kann die andere Hand so positioniert werden, dass ein durchgehend offener Atemweg gewährleistet wird (oder aber, um den Kompressionsarm am Ellbogen zu stabilisieren).

- Nach 15 Kompressionen sollen 2 Beatmungen folgen und sich dann abwechseln (15:2 Reanimationszyklus). Unterbrechen Sie die CPR zu keinem Zeitpunkt, es sei denn, es gibt deutliche Lebenszeichen (Anzeichen auf ein Wiedererlangen des Kreislaufs, Bewegung, Husten o.ä.) oder wenn Sie erschöpft sind. Bei zwei oder mehr Helfern soll der Helfer, der Thoraxkompressionen durchführt, regelmäßig gewechselt werden. Der Einzelhelfer soll die Hände (die komprimierende und die aufliegende Hand) oder die Technik (Ein- oder Zweihandmethode) abwechseln, um Erschöpfung zu vermeiden.
- Unterstützen Sie die Beatmung mit einer altersentsprechenden Atemfrequenz, wenn es eindeutige Lebenszeichen gibt, das Kind jedoch bewusstlos bleibt und nicht normal atmet.

Helfer, die nur in Erwachsenen-BLS ausgebildet wurden

BLS-Helfer, die nicht in PBLs geschult sind, sollen den CPR-Algorithmus für Erwachsene mit initialen Thoraxkompressionen

und anschließenden Beatmungen befolgen und die Techniken an die Größe des Kindes anpassen. Wenn sie geschult sind, erwägen sie die Durchführung der 5 Initialbeatmungen, bevor sie mit den Thoraxkompressionen fortfahren.

Ungeschulte Ersthelfer

- Der Atem-Kreislauf-Stillstand wird basierend auf der Kombination von *fehlenden Reaktionen und fehlender oder abnormer Atmung* festgestellt. Da letzteres oft schwer zu identifizieren ist oder bei Bedenken hinsichtlich der Eigensicherheit (z. B. des Risikos einer Virusübertragung), können Ersthelfer sich statt des Sehen-Hören-Fühlens auch von spezifischen Beschreibungen (telefonisch angeleitete CPR) oder dem Fühlen nach Atembewegungen leiten lassen.
- CPR durch ungeschulte Ersthelfer soll in jedem Fall begonnen werden, sobald dies möglich ist. Der Leitstellendisponent spielt für die Erkennung eines Atem-Kreislauf-Stillstands durch nicht geschulte Ersthelfer und der Anleitung zur CPR eine entscheidende Rolle. Wenn zum Zeitpunkt des Anrufs bereits eine CPR durch umstehende Personen durchgeführt wird, sollen Leitstellendisponenten Anweisungen nur dann erteilen, wenn sie dazu aufgefordert werden oder wenn Probleme mit Kenntnissen oder Fähigkeiten festgestellt werden.
- Die Schritte des Algorithmus für die pädiatrische, telefonunterstützte CPR sind dem PBLs-Algorithmus sehr ähnlich. Um die Anzahl der Wechsel zu verringern, kann ein Reanimationszyklus von 30:2 bevorzugt werden. Wenn Ersthelfer keine Beatmungen durchführen können, sollen sie nur mit Thoraxkompressionen fortfahren.

Verwendung eines automatisierten externen Defibrillators (AED)

- Bei Kindern mit Atem-Kreislauf-Stillstand soll ein einzelner Helfer, wie oben beschrieben, sofort mit der CPR beginnen. Bei Verdacht auf das Vorliegen eines primär

schockbaren Rhythmus, wie z. B. bei einem plötzlichen Kollaps, soll ein AED geholt und angewendet, wenn dieser leicht und schnell erreichbar ist (am besten zum Zeitpunkt des Absetzens des Notrufs). Wenn es mehr als einen Helfer gibt, soll ein zweiter Helfer sofort den Notruf wählen und danach oder parallel einen AED holen und anwenden (falls möglich).

- Geschulte Helfer sollen die No-flow-Zeit bei Verwendung eines AED begrenzen, indem sie die CPR unmittelbar nach der Schockabgabe oder Entscheidung, dass keine Schockabgabe notwendig ist, fortführen. Die Pads sollen mit minimaler oder ohne Unterbrechung der CPR aufgeklebt werden.
- Verwenden Sie nach Möglichkeit einen AED mit der Möglichkeit zur Dosisanpassung bei Säuglingen und Kindern unter 8 Jahren. Wenn dieser nicht verfügbar ist, verwenden Sie einen Standard-AED für alle Altersgruppen.

PBLs bei traumatischem Atem-Kreislauf-Stillstand

- Beginnen sie nach Gewährleistung der Eigensicherheit eine Ersthelfer-CPR, wenn Sie nach einem Trauma ein Kind im Atem-Kreislauf-Stillstand auffinden. Versuchen Sie, die Bewegungen der Wirbelsäule während der CPR so gering wie möglich zu halten, ohne die Reanimationsmaßnahmen zu behindern, welche eindeutig Priorität haben.
- Wenden Sie einen AED nicht routinemäßig beim traumatischen Atem-Kreislauf-Stillstand an, es sei denn, es besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit für einen zugrundeliegenden schockbaren Rhythmus, z. B. nach einem Stromschlag.
- Üben Sie bei massiven äußeren Blutungen direkten Druck auf die Wunde aus und verwenden Sie nach Möglichkeit hämostyptische Verbände. Verwenden Sie bei unkontrollierbaren, lebensbedrohlichen äußeren Blutungen ein Tourniquet (vorzugsweise ein zugelassenes Me-

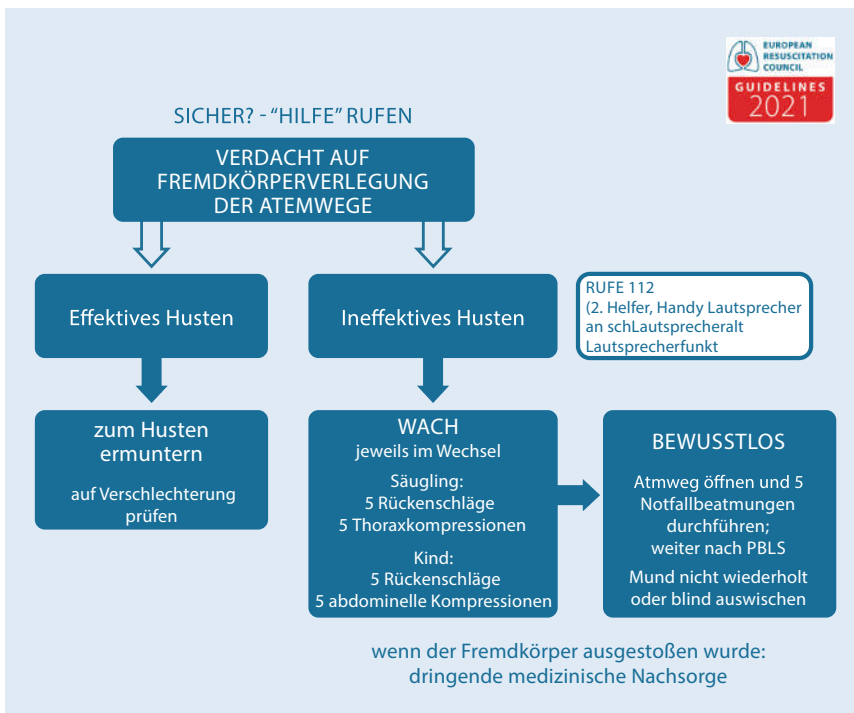


Abb. 3 ▲ Fremdkörperaspiration (FBAO)

dizinprodukt, ansonsten anderweitig improvisiert).

Seitenlage

- Bei bewusstlosen Kindern, die sich nicht im Atem-Kreislauf-Stillstand befinden und eindeutig normal atmen, können die Atemwege entweder durch fortgesetzte Überstreckung des Kopfes mit Anheben des Kinns oder durch einen Esmarch-Handgriff offengehalten oder – insbesondere wenn das Risiko des Erbrechens besteht – durch Lagerung des bewusstlosen Kindes in der stabilen Seitenlage geschützt werden.
- Sobald sich das Kind in der stabilen Seitenlage befindet, überprüfen Sie die Atmung *jede Minute* neu, um einen Atem-Kreislauf-Stillstand frühzeitig zu erkennen (Laienersthelfer benötigen möglicherweise eine telefonische Anleitung).
- Vermeiden Sie jeglichen Druck auf den Thorax des Kindes, der die Atmung beeinträchtigen könnte, und wechseln Sie regelmäßig die Seite, um Druckstellen zu vermeiden (d. h. alle 30 min).
- Öffnen Sie bei bewusstlosen Patienten nach Trauma die Atemwege mit dem

Esmarch-Handgriff und achten Sie dabei darauf, eine Rotation der Wirbelsäule zu vermeiden.

Fremdkörperaspiration/ Atemwegsobstruktion beim Kind (FBAO)

- Es besteht der Verdacht auf ein Bolusgeschehen bzw. eine Fremdkörperaspiration, wenn – bei unbeobachtetem Ereignis – das Auftreten von Atemwegsbeschwerden (Husten, Würgen, Stridor, Stress o. ä.) sehr plötzlich und aus voller Gesundheit heraus auftritt. Eine Vorgeschichte mit Essen oder Spielen mit kleinen Gegenständen unmittelbar vor Einsetzen der Symptome soll den Helfer an eine Fremdkörperaspiration denken lassen.
- Solange das Kind effektiv **hustet** (voll ansprechbar ist, laut husten kann, vor dem Husten Luft holen kann, immer noch weint oder spricht) ist kein Eingreifen erforderlich. Ermuntern Sie das Kind, weiter zu husten und überwachen Sie es kontinuierlich (Abb. 3).
- Wenn der Husten des Kindes **ineffektiv ist bzw. wird** (abnehmendes Bewusstsein, leiserer Husten, Unfähigkeit zu atmen oder zu sprechen/schreien, Zyanosezeichen) erbitten Sie weitere Hilfe bei gegebenenfalls anwesenden Personen und bestimmen Sie den Bewusstseinsgrad des Kindes. Ein zweiter Helfer soll den Notruf absetzen, vorzugsweise per Mobiltelefon (Lautsprecherfunktion). Wenn sie allein vor Ort sind, soll vor dem Absetzen des Notrufs mit den entsprechenden Maßnahmen fortgefahren werden (es sei denn, sie könnten gleichzeitig mit aktivierter Lautsprecherfunktion anrufen).

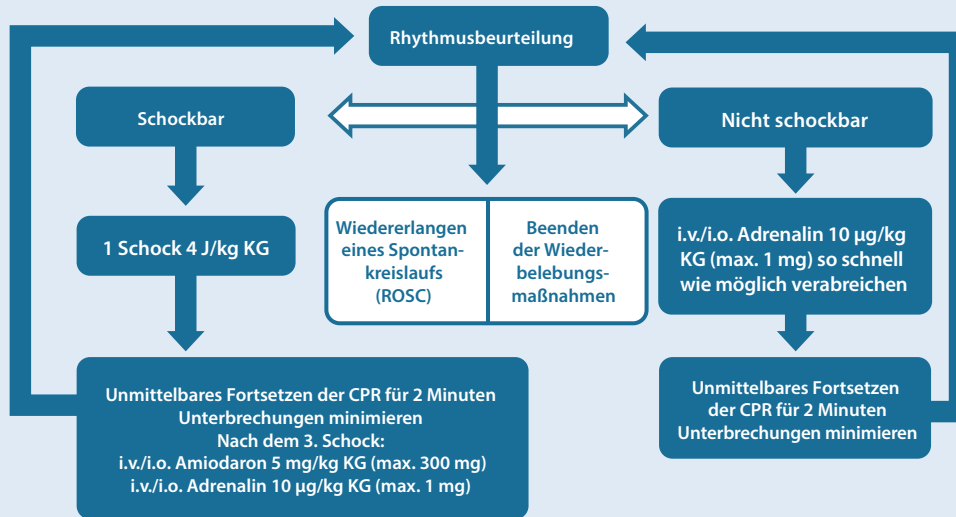
higkeit zu atmen oder zu sprechen/schreien, Zyanosezeichen) erbitten Sie weitere Hilfe bei gegebenenfalls anwesenden Personen und bestimmen Sie den Bewusstseinsgrad des Kindes. Ein zweiter Helfer soll den Notruf absetzen, vorzugsweise per Mobiltelefon (Lautsprecherfunktion). Wenn sie allein vor Ort sind, soll vor dem Absetzen des Notrufs mit den entsprechenden Maßnahmen fortgefahren werden (es sei denn, sie könnten gleichzeitig mit aktivierter Lautsprecherfunktion anrufen).

- Wenn das Kind noch bei Bewusstsein ist, aber ineffektives Husten zeigt, applizieren Sie 5 Schläge mit der flachen Hand auf den Rücken des Kindes. Falls diese Schläge auf den Rücken die Fremdkörperverlegung nicht beseitigen, verabreichen Sie bei Säuglingen 5 Thoraxkompressionen bzw. bei Kindern (> 1 Jahr) 5 abdominelle Kompressionen (Heimlich-Manöver). Wenn der Fremdkörper nicht ausgehustet wurde und sich der Zustand nicht verbessert und der Patient noch bei Bewusstsein ist, setzen Sie die Abfolge von Rückenschlägen und Thoraxkompressionen (für Säuglinge) oder abdominelle Kompressionen (für Kinder) fort. Verlassen Sie das Kind nicht.
- Ziel ist es, mit jedem einzelnen Stoß das Atemwegshindernis zu beseitigen, ohne alle applizieren zu müssen.
- Falls der Fremdkörper erfolgreich ausgehustet wurde oder der Zustand sich gebessert hat, beurteilen Sie den klinischen Zustand des Kindes neu. Es ist möglich, dass ein Teil des Fremdkörpers in den Atemwegen verblieben ist und dadurch Komplikationen verursacht werden. Im Zweifelsfall oder wenn das Kind mit abdominellen/thorakalen Kompressionen behandelt wurde, ist eine dringende medizinische Untersuchung indiziert.
- Wenn das Kind mit Bolusgeschehen bzw. Fremdkörperaspiration bewusstlos ist oder wird, fahren Sie gemäß dem pädiatrischen BLS-Algorithmus fort. Kompetente Helfer sollen die Verwendung einer Magill-

SICHER? RUFEN SIE UM HILFE

Kreislaufstillstand festgestellt?
(inklusive hypoxischer-ischämischer Bradykardie)

Beginnen / Setzen Sie PBLs-Maßnahmen fort
Unterbrechungen minimieren
Stellen Sie sicher, dass Notruf / Herzalarm-Team alarmiert sind
Verwenden Sie einen Defibrillator / Monitor



Während der CPR

- Stellen Sie eine qualitativ hochwertige CPR sicher: Frequenz, Tiefe, Entlastung
- Verwenden Sie die Beutel-Maske-Beatmung mit 100% Sauerstoff (2-Helfer-Technik mit Doppel-C-Griff)
- Vermeiden Sie eine Hyperventilation
- Gefäßzugang (intravenös, intraossär)
- Sobald begonnen, geben Sie Adrenalin alle 3–5 Minuten.
- Spülen Sie nach jeder Gabe mit NaCl 0,9% nach
- Wiederholen Sie Amiodaron 5 mg/kg KG (max. 150 mg) nach dem 5. Schock
- Erwägen Sie eine Atemwegssicherung und Kapnographie (wenn erfahren)
- Verwenden Sie kontinuierliche Thoraxkompressionen, wenn ein Endotrachealtubus platziert ist. Beatmungsfrequenz: 25 (Säuglinge) – 20 (1–8 Jahre) – 15 (8–12 Jahre) oder 10 (>12 Jahre) pro Minute
- Erwägen Sie eine stufenweise Steigerung der Energiedosis (bis max. 8 J/kg KG – max. 360 Joule) bei refraktärem VF/pVT (≥ 6 Schocks)

Behandeln Sie reversible Ursachen

- Hypoxie
- Hypovolämie
- Hyper-/Hypokaliämie, -kalzämie, -magnesiämie; Hypoglykämie
- Hypo- / Hyperthermie
- Herzbeuteltamponade
- Intoxikation
- Thromboembolie (koronar oder pulmonal)
- Spannungspneumothorax

Adaptieren Sie den Algorithmus an spezielle Situationen (z.B. Trauma, eCPR)

Sofort nach ROSC

- ABCDE-Schema
- Kontrollierte Oxygenierung (SpO₂ 94–98%) & Ventilation (Normokapnie)
- Vermeiden Sie eine arterielle Hypotension
- Behandeln Sie vorangegangene Ursachen

Abb. 4 ◀ EPALS

Zunge in Betracht ziehen, um den Fremdkörper zu entfernen.

Paediatric Advanced Life Support

Reihenfolge der Aktionen im EPALS

Obwohl die Abfolge der Aktionen schrittweise dargestellt wird, handelt es sich bei EPALS um Teamarbeit, bei der mehrere

Interventionen parallel durchgeführt werden. EPALS-Teams sollen nicht nur Kenntnisse und Fähigkeiten, sondern auch Teamwork und den Ablauf (Choreografie) von EPALS-Interventionen trainieren (▣ Abb. 4).

- *Beginnen und/oder fahren Sie mit der pädiatrischen BLS fort.* Das Erkennen eines Atem-Kreislauf-Stillstands kann aus klinischen Gründen oder basierend auf dem Monitoring der Vitalfunktionen (EKG, Verlust von SpO₂ und/oder etCO₂, Blutdruckverlust usw.) erfolgen. Beginnen Sie die CPR auch bei Kindern, die trotz ausreichender Atemunterstützung bradykard werden und Anzeichen einer unzureichenden Perfusion aufweisen.
- Falls nicht bereits vorhanden, monitoren Sie die Herzaktivität so bald wie möglich mit EKG-Elektroden oder selbstklebenden Defibrillator-Pads (oder Defibrillationspaddels). *Unterscheiden Sie zwischen schockbaren und nicht schockbaren Herzrhythmen.*
 - **Nicht schockbare** Rhythmen sind die pulslose elektrische Aktivität (PEA), Bradykardien und die Asystolie. Wenn die Bradykardie (< 60 pro Minute) das Ergebnis von Hypoxie oder Ischämie ist, ist eine CPR erforderlich, auch wenn ein Puls noch tastbar ist. Daher sollen sich Helfer eher auf Lebenszeichen verlassen und keine Zeit mit der Pulssuche verlieren. Wenn keine Lebenszeichen vorhanden sind, setzen Sie eine qualitativ hochwertige CPR fort. Etablieren Sie schnellstmöglich einen Gefäßzugang und verabreichen Sie Adrenalin i.v. (10 µg/kgKG, max. 1 mg). Spülen Sie anschließend mit NaCl 0,9%, um die Arzneimittelwirkung zu beschleunigen. Wiederholen Sie die Adrenalingabe alle 3–5 min. Wählen Sie den i.o. Zugang als primären Gefäßzugang, wenn die Anlage als schwierig eingeschätzt wird.
 - **Schockbare** Rhythmen sind die pulslose ventrikuläre Tachykardie (pVT) und das Kammerflimmern (VF). Sobald dies festgestellt wurde, soll sofort eine Defibrillation erfolgen (unabhängig von der EKG-Amplitude). Im Zweifel betrachten Sie den Rhythmus als schockbar. Wenn Sie selbstklebende Pads verwenden, setzen Sie die Thorax-

kompressionen fort, während der Defibrillator geladen wird. Unterbrechen Sie nach dem Laden die Thoraxkompressionen und stellen Sie sicher, dass kein Helfer Kontakt zum Patienten hat. Minimieren Sie die Pause zwischen der Unterbrechung der Thoraxkompressionen und der Abgabe des Schocks (< 5 s). Geben Sie einen Schock (4 J/kgKG) ab und setzen Sie unmittelbar die CPR fort. Überprüfen Sie den Herzrhythmus alle 2 min (nach dem letzten Schock) und geben Sie einen weiteren Schock (4 J/kgKG) ab, wenn der schockbare Rhythmus persistiert. Geben Sie unmittelbar nach dem dritten Schock Adrenalin (10 µg/kgKG, max. 1 mg) und Amiodaron (5 mg/kgKG, max. 300 mg) i.v. oder i.o. Spülen Sie nach jeder Medikamentengabe mit NaCl 0,9% nach. Lidocain i.v. (1 mg/kgKG) kann von Helfern, die Erfahrung in der Anwendung haben, als Alternative zu Amiodaron angewendet werden. Geben Sie nach dem 5. Schock eine zweite Dosis Adrenalin (10 µg/kgKG, max. 1 mg) und Amiodaron (5 mg/kgKG, max. 150 mg), wenn das Kind noch einen schockbaren Rhythmus hat. Danach soll die Adrenalingabe alle 3–5 min wiederholt werden.

- Wechseln Sie die Person, die die Thoraxkompressionen durchführt, mindestens alle 2 min. Achten Sie auf Erschöpfungszeichen und/oder suboptimale Kompressionen und wechseln Sie die Helfer bei Bedarf auch früher aus.
- Die Wiederbelebensmaßnahmen sollen fortgesetzt werden, es sei denn:
 - Ein koordinierter Rhythmus mit potenzieller Perfusion wird bei der Rhythmusüberprüfung erkannt und von Anzeichen einer Rückkehr des Spontankreislaufs („return of spontaneous circulation“, ROSC) begleitet. Die Beurteilung soll klinisch (Augenöffnen, Bewegungen, normale Atmung) und/oder ap-

parativ (etCO₂, SpO₂, Blutdruck, Ultraschall) erfolgen.

- Es existieren klare Kriterien für das Beenden der Wiederbelebensmaßnahmen (siehe Kapitel ERC-Leitlinien zur Ethik).

Defibrillation während pädiatrischem ALS (PALS)

Manuelle Defibrillation ist die empfohlene Methode im PALS. Wenn diese jedoch nicht sofort verfügbar ist, kann alternativ ein AED verwendet werden.

- Verwenden Sie 4 J/kgKG als Standardenergiedosis für die Schockabgabe. Es erscheint sinnvoll, keine Energiedosen zu verwenden, die über den für Erwachsene empfohlenen Dosen liegen (120–200 J, abhängig vom Defibrillatortyp). Erwägen Sie für refraktäres VF/pVT ab der 6. Defibrillation die Energiedosis schrittweise bis zu 8 J/kgKG und max. 360 J zu erhöhen.
- Die Defibrillation über selbstklebende Pads ist zum Standard geworden. Wenn diese nicht verfügbar sind, wird die Verwendung von Paddels (mit vorgeformten Gelkissen) immer noch als akzeptable Alternative angesehen. Dies erfordert jedoch spezifische Änderungen im Ablauf (Choreografie) der Defibrillation. Der Ladevorgang soll dann direkt auf dem Thorax, mit kurzer Unterbrechung der Kompressionen, erfolgen. *Eine gute Planung und Kommunikation vor jeder Maßnahme* minimiert die Hands-off-Zeit.

Die Pads sollen entweder anterolateral (AL) oder anteroposterior (AP) positioniert werden. Vermeiden Sie den Kontakt zwischen den Pads, da dies zu einem Kurzschluss führen kann. In der AL-Position werden ein Pad unter dem rechten Schlüsselbein und das andere unterhalb der linken Achsel platziert. In der AP-Position wird das vordere Pad in der Mitte des Thorax unmittelbar links vom Brustbein und das hintere Pad in der Mitte zwischen den Schulterblättern platziert.

Sauerstoffversorgung und Beatmung während pädiatrischem ALS

- *Oxygenieren und beatmen Sie mit Beutel-Maske-Beatmung mit hoher Sauerstoffkonzentration (FiO₂ 1,0).* Titrieren Sie nicht das FiO₂ während der CPR.
 - Erwägen Sie bei CPR während des Transports oder zu erwartender längerer Reanimation die Platzierung eines Atemweghilfsmittels (ET, SGA), wenn ein kompetenter Helfer anwesend ist. Wenn eine Beatmung mit Beutel-Maske-Beatmung nicht funktioniert oder nicht effektiv ist, sollen Sie die frühzeitige Platzierung eines Atemweghilfsmittels in Betracht ziehen. Verwenden Sie das etCO₂-Monitoring, wenn ein Atemweghilfsmittel platziert wurde.
 - Vermeiden Sie immer eine Hyperventilation (aufgrund übermäßiger Frequenz und/oder hohem VT). Achten Sie jedoch auch darauf, dass die Belüftung der Lunge auch bei Thoraxkompressionen ausreichend ist. Das Tidalvolumen (VT) kann anhand der Thoraxhebung abgeschätzt werden.
- Bei CPR mit Überdruckbeatmung über einen Endotrachealtubus können die Beatmungen asynchron und die Thoraxkompressionen **kontinuierlich** erfolgen (nur alle 2 min zur Rhythmusüberprüfung pausieren). In diesem Fall sollen sich die Beatmungsfrequenzen an der unteren Grenze der normalen altersspezifischen Atemfrequenz orientieren, z. B. Atemzüge/min: 25 (Säuglinge), 20 (> 1 Jahr), 15 (> 8 Jahre), 10 (> 12 Jahre).
- Bei Kindern, die bereits maschinell beatmet werden, kann man entweder auf eine manuelle Beutelbeatmung wechseln oder das Kind weiter maschinell beatmen. Stellen Sie im letzteren Fall sicher, dass sich das Beatmungsgerät in einem volumenkontrollierten Modus befindet, dass Trigger und Grenzwerte deaktiviert sind und die Beatmungsfrequenz, VT und FiO₂ für die CPR geeignet sind. Es gibt keine Evidenz für ein be-

stimmtes PEEP-Niveau während der CPR. Cave: Eine Funktionsstörung des Beatmungsgeräts kann selbst eine Ursache für einen Atem-Kreislauf-Stillstand sein.

Sobald ein anhaltender ROSC vorliegt, titrieren Sie die FiO₂ auf ein SpO₂ von 94 bis 98 %. Kompetente Helfer sollen bei Kindern, die das Bewusstsein nicht wiedererlangen, oder im Fall anderer klinischer Indikationen eine Atemwegssicherung durchführen, falls diese noch nicht geschehen ist.

Monitoring während ALS

- Die **Kapnographie** ist für die Kontrolle/Überwachung der Tubuslage verpflichtend. Sie erlaubt jedoch keine Identifizierung einer selektiven (einseitigen) Intubation eines Hauptbronchus. Wenn es während der CPR eingesetzt wird, kann die Kapnometrie helfen, einen ROSC schneller zu erkennen. Bei ALS im Kindesalter sollen etCO₂-Werte weder als Qualitätsindikator noch als Zielgröße eingesetzt werden. Außerdem sollen sie nicht als Hinweis für oder gegen eine Fortsetzung der Wiederbelebensmaßnahmen verwendet werden.
- Die **invasive Blutdruckmessung** während dem pädiatrischen ALS soll nur von kompetenten Helfern für Kinder mit Atem-Kreislauf-Stillstand im Krankenhaus („in-hospital cardiac arrest“) als Ziel betrachtet werden, wenn bereits ein arterieller Zugang vorhanden ist. Blutdruckwerte sollen nicht zur Vorhersage des Outcome verwendet werden.
- **Point-of-Care-Ultraschall** kann von kompetenten Helfern verwendet werden, um reversible Ursachen für den Atem-Kreislauf-Stillstand zu identifizieren. Die Anwendung soll die Hands-off-Zeit nicht verlängern oder die Qualität der CPR beeinträchtigen. Die Sonographie erfolgt am besten während der Pausen zur Rhythmusüberprüfung und/oder der Beatmung. Das Team soll vorausplanen und antizipieren (Choreografie), um die verfügbaren Sekunden für die Sonographie optimal zu nutzen.

- **Point-of-Care-Serumwerte** (z. B. Kalium, Laktat, Glukose usw.) können verwendet werden, um reversible Ursachen für einen Kreislaufstillstand zu identifizieren, sollen jedoch nicht für die Prognoseabschätzung verwendet werden. Helfer sollen sich bewusst sein, dass die gemessenen Werte je nach Messtechnik und Probeentnahmestelle erheblich abweichen können.

Besondere Umstände – Reversible Ursachen

- Die frühzeitige Erkennung und ordnungsgemäße Behandlung einer reversiblen Ursache während der CPR hat für alle EPALS-Helfer oberste Priorität. Verwenden Sie die Merkhilfe „4H's und HITS“: **Hypoxie; Hypovolämie; Hypo- oder Hyperkaliämie/-kalzämie/-magnesiämie & Hypoglykämie; Hypo- oder Hyperthermie; Herzbeutel tamponade; Intoxikation, Thromboembolien und Spannungspneumothorax.**
- Sofern nicht anders angegeben, ist die spezifische Behandlung für jede dieser Ursachen beim Kreislaufstillstand dieselbe wie bei akuten lebensbedrohlichen Erkrankungen (siehe oben und das entsprechende Kapitel zu besonderen Umständen in dieser ERC-Leitlinie).
- Helfer sollen (gemäß Protokoll und wenn möglich mit fachkundiger Hilfe) spezifische Behandlungen für Vergiftungen mit Hochrisikomedikamenten (z. B. Betablocker, trizyklische Antidepressiva, Kalziumkanalblocker, Digitalis oder Insulin) in Betracht ziehen. Bei bestimmten lebensbedrohlichen Vergiftungen sollen frühzeitig extrakorporale Therapieverfahren in Betracht gezogen werden. Diese Patienten sollen in ein Zentrum gebracht werden, welches diese Therapie bei Kindern durchführen kann. Idealerweise soll dies geschehen, bevor kardiovaskuläre oder neurologische Auffälligkeiten auftreten.
- Spezielle Krankheitsbilder der Herzchirurgie, Neurochirurgie, sowie Trauma, Ertrinken, Sepsis und pulmonale Hypertonie erfordern

ebenfalls einen spezifischen Therapieansatz. Die weit verbreitete Verwendung von extrakorporaler Reanimation/CPR (ECLS/eCPR) hat das gesamte Konzept der Reversibilität neu definiert.

- Einrichtungen, die herzchirurgische Operationen bei Kindern durchführen, sollen institutsspezifische Algorithmen für den Kreislaufstillstand nach herzchirurgischen Operationen festlegen.
- Standard-ALS-Maßnahmen können bei Kindern mit Kreislaufstillstand und pulmonaler Hypertonie (PHT) unwirksam sein. Suchen Sie aktiv nach reversiblen Ursachen für einen erhöhten pulmonalen Gefäßwiderstand, wie etwa die Nichteinnahme der Medikamente, Hyperkapnie, Hypoxie, Arrhythmie, Herzbeutel tamponade oder Arzneimitteltoxizität. Denken Sie an spezielle Therapiemodalitäten wie z. B. die Applikation von pulmonalen Vasodilatoren.

Traumatisch bedingter Kreislaufstillstand

Beginnen sie im Fall eines traumatisch bedingten Kreislaufstillstands die Standard-CPR, während Sie parallel nach einer der reversiblen Ursachen eines traumatischen Kreislaufstillstands beim Kind suchen und diese dann entsprechend behandeln:

- Atemwege öffnen und die Beatmung mit Sauerstoff durchführen
- Externe Blutungskontrolle, einschließlich der Verwendung eines Tourniquets bei starken Blutungen der Extremitäten
- Bilaterale Thorakostomie mit Anlage einer Thoraxdrainage (alternativ: Nadeldekompression in Seldinger-Technik)
- Flüssigkeitsmanagement und Volumengabe über i.v. oder i.o. Zugänge, (wenn möglich mit Vollblut oder Blutprodukten) sowie die Verwendung der Beckenschlinge bei stumpfen Traumata.
- Thoraxkompressionen werden, je nach verfügbarem Personal und notwendigen Maßnahmen, paral-

lel durchgeführt. Aufgrund des Verletzungsmechanismus kann die Behebung reversibler Ursachen der Verabreichung von Adrenalin vorausgehen.

- Erwägen Sie eine Thorakotomie in der Notaufnahme bei pädiatrischen Patienten mit penetrierenden Traumata mit oder ohne Lebenszeichen. In einigen prähospitalen Settings können hochspezialisierte Fachkräfte auch eine Thorakotomie vor Ort in Erwägung ziehen.

Unterkühlung

- Passen Sie die Standard-ALS-Maßnahmen des Kindesalters dem Grad der Unterkühlung an (siehe auch Kapitel über besondere Umstände). Starten Sie die Standardwiederbelebung für alle Kinder im Kreislaufstillstand. Wenn eine kontinuierliche CPR nicht möglich ist und das Kind stark unterkühlt ist ($< 28^{\circ}\text{C}$), kann eine verzögerte oder intermittierende CPR in Betracht gezogen werden.
- Jedes Kind, von dem angenommen wird, dass es eine Chance auf ein gutes Outcome hat, soll idealerweise so schnell wie möglich in ein (pädiatrisches) Referenzzentrum mit der Möglichkeit einer ECLS- oder eines kardiopulmonalen Bypasses transportiert werden.

Extrakorporale Lebenserhaltung

- E-CPR soll für Kinder mit Kreislaufstillstand in der Notaufnahme oder im Krankenhaus und einer (vermuteten) reversiblen Ursache frühzeitig in Betracht gezogen werden, wenn konventionelle EPALS-Maßnahmen nicht zeitnah zum ROSC führen. Dies ist nur in einem Umfeld möglich, in dem Fachwissen, Ressourcen und die notwendigen Systeme verfügbar sind, um den ECLS schnell einzuleiten.
- Für bestimmte Untergruppen von Kindern mit dekompensiertem kardiorespiratorischen Versagen (z. B. schwerer refraktärer septischer Schock, Kardiomyopathie, Myokarditis mit refraktärem niedrigem Herzzeitvolumen) ist die Anwendung von ECLS bereits vor einem eventuellen Stillstand vorteilhaft, um die

Endorgane weiter zu durchbluten und einen Kreislaufstillstand zu verhindern. Ein Kreislaufstillstand während oder kurz vor der Kanülierung für ECLS-Maßnahmen soll die ECLS-Maßnahmen nicht ausschließen.

- Kompetente Helfer könnten sich auch dazu entschließen, eine E-CPR für Kinder mit einem Kreislaufstillstand bei tiefer Hypothermie außerhalb des Krankenhauses (OHCA) durchzuführen, wenn die Kanülierung von einem hochqualifizierten Team innerhalb eines Rettungsdienstsystems prähospital durchgeführt werden kann.

Postreanimationsbehandlung

Das mögliche Outcome von Kindern nach ROSC hängt von vielen Faktoren ab, von denen einige möglicherweise einer Behandlung zugänglich sind. Eine sekundäre Schädigung lebenswichtiger Organe kann durch ein anhaltendes Herz-Kreislauf-Versagen, aufgrund der auslösenden Ursache, einer Myokardfunktionsstörung nach ROSC, einer Reperusionsproblematik oder einer anhaltenden Hypoxämie verursacht werden.

- **Hämodynamik:** Vermeiden Sie eine arterielle Hypotonie nach ROSC (d. h. MAD < 5 Perzentile für das entsprechende Alter). Streben Sie einen Blutdruck über der 50. Perzentile an, wobei Sie die klinischen Symptome, das Serumlaktat und/oder die Messungen des Herzzeitvolumens berücksichtigen. Verwenden Sie dazu die minimal erforderlichen Dosen von parenteralen Flüssigkeiten und vasoaktiven Medikamenten. Überwachen Sie alle Prozeduren und passen Sie sie kontinuierlich den physiologischen Reaktionen des Kindes an.
- **Beatmung:** Passen Sie die Atemfrequenz und das Atemminutenvolumen an das Alter des Kindes an, um einen normalen PaCO₂ zu erzielen. Vermeiden Sie sowohl Hypokapnie als auch Hyperkapnie. Bei einigen Kindern können die üblichen Werte für PaCO₂ und PaO₂ von den altersspezifischen Populationsnormwerten

abweichen (z. B. bei Kindern mit chronischer Lungenerkrankung oder angeborenen Herzerkrankungen). Ziel ist es, die normalen Ausgangswerte (Baseline-Werte) des Kindes wiederherzustellen. Verwenden Sie das etCO_2 nicht als Ersatz für das PaCO_2 , wenn Sie eine Normokapnie als Teil der neuroprotektiven Versorgung anstreben, es sei denn, es liegt eine sichere nachgewiesene Korrelation vor.

- **Oxygenierung:** Titrieren Sie den FiO_2 , um eine Normoxämie zu erreichen, oder halten Sie die SpO_2 im Bereich von 94–98 %, wenn keine arterielle Blutgasanalyse verfügbar ist. Halten Sie bei vermuteter Kohlenmonoxidvergiftung oder schwerer Anämie einen hohen FiO_2 aufrecht.
- **Verwenden Sie ein kontrolliertes Temperaturmanagement (TTM):** Vermeiden Sie Fieber ($\leq 37,5^\circ\text{C}$) und halten Sie eine bestimmte vordefinierte Temperatur ein, z. B. durch externe Kühlung. Niedrigere Zieltemperaturen (z. B. 34°C) erfordern geeignete Systeme der pädiatrischen Intensivpflege und sollen nur in Behandlungseinheiten mit entsprechender Expertise angewendet werden. Alternativ kann das Behandlungsteam eine höhere Zieltemperatur anstreben, z. B. 36°C .
- **Blutzuckerkontrolle:** Überwachen Sie den Blutzucker und vermeiden Sie sowohl Hypo- als auch Hyperglykämie. Beachten Sie, dass eine strenge Glukosekontrolle aufgrund des Risikos einer versehentlichen Hypoglykämie schädlich sein kann.

Obwohl mehrere Faktoren Einfluss auf das Outcome nach einem Kreislaufstillstand haben, kann kein einzelner Faktor isoliert für die Prognose verwendet werden. Helfer sollen mehrere Variablen in der Phase vor, innerhalb und nach dem Kreislaufstillstand monitoren, dies beinhaltet auch Labormarker und die neuroradiologische Bildgebung.

Evidenzen für die Leitlinien

Der Kontext des regionalen Gesundheitssystems und insbesondere die Verfügbarkeit der jeweiligen Ressourcen haben großen Einfluss auf die Praxis und sollen bei der Auslegung und Umsetzung dieser Leitlinien stets berücksichtigt werden [6].

COVID-19: Auswirkungen auf die Empfehlungen innerhalb dieser Leitlinien

Die COVID-19-Pandemie begann gerade, als diese Leitlinien ausgearbeitet wurden. Dies erforderte spezifische Änderungen der Reanimationsalgorithmen sowie der Behandlungsempfehlungen des kritisch kranken Kindes. Diese Änderungen waren Gegenstand spezifischer ERC-Leitlinien zum Thema „Wiederbelebung während der COVID-Pandemie“ und werden hier nicht wiederholt [7].

Zukünftige Leitlinien müssen das Ziel einer optimalen Behandlung des Kindes mit der Epidemiologie von Viruspanidemien und den verfügbaren Ressourcen in Einklang bringen. Die Gewährleistung der Sicherheit des Helfers hatte in allen ERC-Leitlinien immer Priorität, aber mangelnde Evidenzen haben es erschwert, die damit verbundenen Risiken genau zu definieren. Helfer schätzen den Nutzen für das Kind möglicherweise höher ein als ihr persönliches Risiko, sollen sich jedoch gleichermaßen ihrer Verantwortung gegenüber ihren Verwandten, Kollegen und der Gesellschaft bewusst sein. Wenn das Risiko einer Übertragung einer schweren Krankheit besteht, sollen Rettungskräfte im Allgemeinen geeignete PSA verwenden, bevor sie lebenserhaltende Maßnahmen durchführen. Entsprechende Vorbereitungen sollen darauf ausgerichtet sein, dies zu garantieren. Wenn zusätzliche Zeit erforderlich ist, um eine sichere Versorgung zu gewährleisten, soll dies als akzeptabler Teil des Wiederbelebensprozesses angesehen werden. Verfahren und Techniken, die das Risiko einer Krankheitsübertragung begrenzen (beispielsweise durch Aerosolausbreitung), sind durchzuführen.

Eine ausführliche Diskussion über COVID-19 bei Kindern würde den Rahmen der aktuellen Leitlinien sprengen. Im Allgemeinen weisen Kinder eine mildere Erkrankung auf und sind für andere möglicherweise weniger ansteckend als Erwachsene [8–10]. Dies kann jedoch in Einzelfällen oder bei anderen Viren in Zukunft anders sein [11–13].

Epidemiologie des Kreislaufstillstands bei Kindern

Weitere Informationen finden Sie im Abschnitt zur Epidemiologie der ERC-Leitlinien. Wichtige Punkte sind:

- Kreislaufstillstände bei Kindern außerhalb eines Krankenhauses (OHCA) sind ein relativ seltenes Ereignis mit einer schlechten Prognose. Die 30-Tage-Überlebensraten haben sich in letzter Zeit verbessert, variieren jedoch insgesamt noch immer nur zwischen 5 und 10 %. Weniger als die Hälfte dieser Überlebenden hat ein günstiges neurologisches Outcome. Anfänglich schockbare Rhythmen treten in 4–8,5 % der gemeldeten Fälle mit weitaus besserem Outcome auf (bis zu 50 % Überleben). Säuglinge machen 40–50 % aller Kreislaufstillstände im Kindesalter außerhalb eines Krankenhauses (OHCA) aus und ihre Prognose ist viel schlechter als bei älteren Kindern. Es wird vermutet, dass etwa 40–50 % aller Kreislaufstillstände bei Kindern außerhalb eines Krankenhauses (OHCA) respiratorischer Natur sind. Plötzlicher Kindstod wird in 20–30 % angegeben. Traumabedingte Kreislaufstillstände machen 10–40 % der untersuchten Kohorten aus [14–20].
- Die Inzidenz von Kreislaufstillständen bei Kindern im Krankenhaus (IHCA) ist in den letzten Jahren relativ unverändert geblieben. Mindestens 50 % aller Fälle scheinen auf nichtpulslose Rhythmen zurückzuführen zu sein [21]. Das Überleben bis zur Entlassung ist signifikant besser als bei Kreislaufstillständen außerhalb eines Krankenhauses (OHCA) und beträgt bei einer systematischen Überprüfung von 16 Datenregistern durchschnittlich

37,2% (95% CI 23,7; 53; [15]). Das neurologische Outcome ist bisher nicht klar. Eine große Kohorte von Studien zu Kreislaufstillständen im Krankenhaus (IHCA) aus dem Vereinigten Königreich ($n = 1580$, 2011–2018, 4,3% mit anfänglich schockbaren Rhythmen) dokumentierte 69,1% mit ROSC und 54,2% nichtadjustierte Überlebensrate bis hin zur Entlassung [22]. Bei mehr als 70% der Überlebenden wurde hier ein gutes neurologisches Outcome beobachtet.

- Insgesamt fehlen adäquate globale Daten zu Inzidenz, Umständen und Outcome von Kreislaufstillständen im Kindesalter. Ein weniger aufgeschlüsselter Ansatz würde den Nutzen von Registerdaten verbessern und letztendlich den Kindern zugutekommen [23].

Anzeichen eines respiratorischen Versagens – Anzeichen eines hämodynamischen Versagens (Kreislaufversagen)

Im Ermangelung eines aktuellen COSTR-Reviews stützten wir unsere Empfehlungen auf bestehende Leitlinien, Reviews und klinische Daten zu diesem Thema (ANHANG RR 1A.1 und 1A.2). Die kürzlich veröffentlichten Leitlinien der Surviving Sepsis Campaign zur Behandlung des septischen Schocks bei Kindern sind von hoher Qualität und haben unsere Erkenntnisse in allen RR zum septischen Schock weitgehend beeinflusst [24].

Atemwegsnotfälle und kardiopulmonale Notfälle machen zusammen den größten Teil der weltweiten Morbidität und Mortalität bei Kindern aus, insbesondere bei Säuglingen und Kleinkindern. Ein schnelles Erkennen und die adäquate Behandlung verbessern das Outcome [25–29]. Die Symptome sind normalerweise nicht spezifisch für eine bestimmte Krankheit und kein Befund kann allein den Schweregrad der Erkrankung zuverlässig darstellen oder die zugrundeliegende Ätiologie abgrenzen [30–36]. Offensichtliche Anzeichen einer Dekompensation (vermindertes Bewusstsein, Hypotonie) sind im Allgemeinen erst spät erkennbar und liegen

meist kurz vor dem kardiorespiratorischen Kollaps. Erste klinische Anzeichen eines (kompensierten) Versagens sind unzuverlässig und es besteht eine signifikante Variabilität zwischen Beobachtern, insbesondere bei kleinen Kindern [28, 31, 37–45].

Eine umfassende Bewertung erfordert daher einen integrativen Ansatz, der die klinischen Symptome berücksichtigt, aber auch zusätzliche Informationen aus der Anamnese, Biomarker und/oder der Bildgebung berücksichtigt. Komplexe Modelle mit künstlicher Intelligenz sind nicht unbedingt besser als die klinischen Entscheidungen eines kompetenten Arztes am Krankenbett [46–48]. Wir unterscheiden bewusst nicht zwischen kaltem und warmem Schock, da dies klinisch oft schwer einzuschätzen ist und Kliniker in die Irre führen kann [24].

Das schnelle Erkennen eines gefährdeten Kindes (initiale Hands-off-Beurteilung in den ersten 5 s) wird unter Verwendung des pädiatrischen Beurteilungsdreiecks/Blickdiagnosedreiecks oder ähnlicher Modelle (Quick-Look-Tools) empfohlen [49–52]. Jede Auffälligkeit soll eine nachfolgende vollständige schrittweise pathophysiologische Beurteilung nach dem ABCDE-Schema auslösen.

Atemfrequenz, Herzfrequenz, Blutdruck

Werte, die in pädiatrischen Lehrbüchern und PLS-Handbüchern für verschiedene Altersgruppen als normal oder nicht normal angesehen wurden, wurden kürzlich in mehreren Studien mit großen Datensätzen von gesunden Kindern sowie von Kindern, die in der Notaufnahme gesehen wurden, und SR infrage gestellt. Es scheint, dass die einfache Einstufung in normal/nicht normal nicht genau genug die häufig beobachteten Unterschiede bei Kindern widerspiegelt [53–61]. Aktuell erstellte Perzentilenkurven stellen die Unterschiede zwischen verschiedenen Altersgruppen besser dar. Ihre Verwendung in der klinischen Praxis und ihre Auswirkungen auf das Outcome müssen allerdings erst überprüft werden. Früher in Lehrbüchern als Normalwerte beschriebene Werte stimmen zumeist nicht mit den in jüngsten Studi-

en angegebenen Bereichen überein. Wir schlagen daher einige Korrekturen vor, um eine Unter- oder Überbewertung zu vermeiden. Wichtig ist, dass keiner dieser isolierten Werte eine ausreichende Robustheit aufweist und immer in Bezug auf andere Anzeichen und Symptome berücksichtigt werden soll. Jeder dieser Werte kann durch Erkrankungen wie Fieber, Angstzustände oder Schmerzen beeinflusst werden. Insgesamt sind Trends informativer und aussagekräftiger als einzelne Messwerte.

Pulsoxymetrie

Hypoxämie tritt häufig bei kranken Kindern auf [62], sowohl bei Atemwegserkrankungen als auch bei nicht-respiratorischen Erkrankungen (z. B. Sepsis) und ist unabhängig von der Diagnose ein Hauptrisikofaktor für den Tod. Das frühzeitige Erkennen einer Hypoxämie hilft bei der Beurteilung des Schweregrads der Erkrankung und ermöglicht eine ordnungsgemäße Behandlung [63]. Klinische Anzeichen können den Grad der Hypoxämie unterschätzen. „Stille Hypoxämien“ wurden, z. B. bei erwachsenen COVID-19-Patienten, beschrieben [64]. Während die Messung des PaO₂ als Goldstandard angesehen wird, bietet die Pulsoxymetrie eine schnelle nicht-invasive Methode zur Beurteilung der Oxygenierung und stellt den Standard für das kontinuierliche Monitoring der Sauerstoffversorgung dar [25, 27, 65]. Es mangelt überraschend an zuverlässigen Daten zur „Normalwert-Verteilung“ bei Kindern (siehe auch RR 5.1). Eine SpO₂ von 95% wird als unterer Grenzwert angegeben [66]. Verschiedene Studien und Bewertungen scheinen ähnliche Ergebnisse zu liefern [67–70]. Angesichts des Mangels an Evidenz und angesichts der Konsistenz zwischen verschiedenen RRs und den generellen Standards von Schulungen empfiehlt die Leitliniengruppe PLS weiterhin 94–98% als „normalen Bereich“. Bei der Interpretation der Pulsoxymetriewerte müssen viele Faktoren (einschließlich Höhe über dem Meeresspiegel, technische Einschränkungen, Qualität der Perfusion, Kohlenmonoxid sowie Schlaf) berücksichtigt werden. Dieses Wissen soll Teil jedes PLS-Trainings sein [71].

Nichtinvasive endtidale CO₂-Messung/Kapnographie

Arteriell PaCO_2 und andere BGA-Parameter gelten als Goldstandard für die Beurteilung der Oxygenierung und Ventilation. Eine kapillare oder venöse BGA kann auch ohne arteriellen Zugang gewonnen werden. Venöses PvCO_2 ist höher als arterielles PaCO_2 , korreliert jedoch im Allgemeinen mit dem PaCO_2 . Im Gegensatz zum PaO_2 sind die Normalwerte von PaCO_2 (etwa 35–45 mm Hg; etwa 1 kPa = 7,5 mm Hg) gut definiert und ändern sich nicht mit dem Alter. Nichtinvasive CO₂-Messgeräte werden vermehrt sowohl in der prähospitalen als auch in der stationären Versorgung eingesetzt. Mehrere Studien zeigen eine gute Korrelation zwischen etCO_2 und PaCO_2 . Die Kapnographie ist die bevorzugte Methode zur etCO_2 -Messung beim intubierten Kind, soll jedoch auch bei spontan atmenden Kindern in Betracht gezogen werden, die beispielsweise einer tiefen Sedierung unterzogen werden oder sich im akuten respiratorischen Versagen befinden [72–76]. Sauerstoff mit hohem Fluss kann zu artifiziell niedrigen etCO_2 -Werten führen [77]. Die Etablierung der etCO_2 -Messung sowie der Pulsoxymetrie im Monitoring war mit einer signifikanten Verringerung der Entsättigungs- und/oder der Hypoventilationszwischenfälle während der prozeduralen Sedierung verbunden [73, 78]. Veränderungen in der etCO_2 -Messung treten Minuten vor Identifikation einer Entsättigung durch die Pulsoxymetrie auf [79]. Die EtCO_2 -Messung soll nicht als Ersatz für das PaCO_2 verwendet werden, wenn eine Normokapnie als Teil einer neuroprotektiven Versorgung angestrebt wird [80].

Serumlaktat

Die Evidenz für die Überwachung des Serumlaktats bei Kindern mit Kreislaufversagen ist begrenzt. Eine frühe Hyperlaktatämie ist mit einer kritischen Erkrankung assoziiert, aber eine Organfunktionsstörung kann auch bei Personen mit normalen Laktatwerten auftreten [81–84]. Darüber hinaus kann Laktat aus anderen Gründen als Zeichen der zellulären Dysoxie ansteigen und ist daher auch kein spezifisches Maß für Dyso-

xie oder Organfunktionsstörungen. Verwenden Sie, zusätzlich zur klinischen Beurteilung, die Trends der Blutlaktatwerte, um die Versorgung von Kindern mit septischem Schock zu steuern [24, 85]. Eine anhaltende Erhöhung des Blutlaktats kann auf eine insuffiziente hämodynamische Kreislauffunktion hinweisen.

Zentralvenöse Sauerstoffsättigung (ScvO₂)

Die kontinuierliche oder intermittierende Messung von ScvO₂ wurde als wesentlicher Bestandteil einer frühen zielgerichteten Therapie angesehen und in früheren Leitlinien als potenziell vorteilhaft identifiziert. Die Leitliniengruppe PLS konnte jedoch keine ausreichenden Beweise für oder gegen ihre Anwendung bei Kindern im septischen Schock finden. Die Verwendung von ScvO₂ erfordert einen zentralen Zugang; Die komplexe Anlage des Zugangs kann allerdings andere wichtige lebenserhaltende Maßnahmen in der Versorgung während der ersten Stunde behindern (siehe RR 8.1). Fortgeschrittene hämodynamische Variablen könnten wertvoll sein, um die laufende Versorgung von Kindern im septischen Schock über die erste Stunde hinaus zu steuern [24, 29].

Anzeichen einer neurologischen Beeinträchtigung

Die Früherkennung und Behandlung neurologischer Notfälle ist von besonderer Bedeutung (Anhang RR 1A.3). Die Prognose hängt häufig mit den sekundären Folgen der erlittenen Hypoxämie oder Ischämie zusammen. Behandlungsverzögerungen verschlechtern das Outcome [86–88]. Für die Bewältigung einiger dieser Notfälle verweisen wir auch auf spezielle Leitlinien [87, 89, 90].

Sowohl die Bewusstseins- als auch das Vorhandensein von Streck- oder Beugesynergismen und die Pupillengröße sowie Symmetrie und Lichtreaktivität der Pupillen beeinflussen die Prognose, reichen jedoch nicht aus, um eine eindeutige Prognose abzugeben.

Bewusstsein

Die Glasgow Coma Scale (GCS) wird häufig verwendet, um das Bewusstsein

und die neurologischen Veränderungen eines Patienten im Lauf der Zeit zu beschreiben. Die Anwendung bei Kindern ist kompliziert. Mehrere Studien bestätigten die nahezu gleiche Leistung vereinfachter Scores [91–96]. AVPU (bzw. WASB) ist einfach und korreliert gut mit dem gesamten GCS bei Kindern über 5 Jahren. Die begrenzten Stufen zwischen wach („alert“) und bewusstlos („unresponsive“) beeinträchtigen die Diskriminierungsfähigkeit. Die Beurteilung der motorischen Reaktion des GCS-Scores verfügt über mehr Stufen als AVPU (bzw. WASB) und scheint fast den gleichen Informationsgehalt zu haben wie der gesamte GCS. Der GCS-Motorik-Score kann in jedem Alter verwendet werden und ermöglicht eine detailliertere Unterscheidung als das AVPU-Schema (bzw. WASB).

Schlaganfall

Der Schlaganfall gehört zu den 10 häufigsten Todesursachen bei Kindern. Mehr als die Hälfte der Überlebenden leidet unter Langzeitbeeinträchtigungen. Schlaganfälle bei Kindern sind selten und werden daher leicht mit häufigeren Erkrankungen wie Migräne oder Vergiftungen verwechselt. Das frühzeitige Erkennen eines Schlaganfalls ist von entscheidender Bedeutung, da jede Verzögerung der Behandlung das Outcome beeinflusst. Warnzeichen („red flags“) sind das plötzliche Auftreten schwerer Kopfschmerzen oder fokaler neurologischer Defizite. Ein Schlaganfall bei Kindern kann jedoch auch häufig als veränderter Bewusstseinszustand oder epileptischer Anfall auftreten. Tools zur Erkennung von Schlaganfällen bei Erwachsenen weisen bei Kindern eine eingeschränkte Eignung auf und werden nicht empfohlen. Kinder, bei denen eines der oben genannten Symptome plötzlich auftritt, haben ein hohes Schlaganfallrisiko und sollen sofort einer neurologischen Untersuchung unterzogen werden. Erwägen Sie eine dringende neuroradiologische Bildgebung [90, 97–101].

Meningitis/Enzephalitis

Die Verdachtsdiagnose einer Enzephalitis erfordert ein hohes Maß an Wachsamkeit, insbesondere bei Säuglingen [86, 87,

[102]. Verzögerungen bei Diagnose und Behandlung sind mit schlechterem Outcome verbunden. Eine sofortige Lumbalpunktion wird nur nach anfänglicher Stabilisierung und ohne Kontraindikationen empfohlen (z. B. Bewusstseinsstörungen, Anzeichen gesteigerten Hirndrucks, Gerinnungsstörungen). Bei Kindern mit einem ersten fieberassoziierten epileptischen Anfall ist die Prävalenz der bakteriellen Meningitis gering. Die Diagnose beruht für Kinder über 6 Monaten meist auf der klinischen Einschätzung. Der Nutzen einer routinemäßigen Lumbalpunktion bei Kindern mit einem ersten fieberhaften epileptischen Anfall ist gering [103].

Pädiatrische Frühwarnwerte (PEWS) – Medizinische Notfallteams (MET) – Schnellreaktionsteams (RRT)

Die Themen PEWS, MET und RRT wurden von ILCOR als Scoping Review (PLS 818) bzw. als Evidence Update (EvUp) (PLS 397) untersucht. Die PLS-Taskforce kam zu dem Schluss, dass die Implementierung von PEWS und die Verwendung pädiatrischer MET/RRT-Systeme Teil eines klinischen Gesamtsystems sein sollen. Sie korrelierten die potenziellen Kosten und Auswirkungen der Implementierung solcher Systeme auf die vorhandenen Ressourcen. Sie identifizierten auch mehrere Kernpunkte bei der Erforschung von PEWS [104]. Die Ergebnisse eines großen RCT-Clusters, in dem die Auswirkungen der Implementierung von PEWS und pädiatrischen Track- und Trigger-Tools untersucht werden, werden noch erwartet [105].

Point-of-Care-Sonographie (POCUS) bei kritisch kranken Kindern

Die verfügbaren Daten legen nahe, dass POCUS eine wirksame Methode sowohl für die schnelle Diagnose als auch für die Indikationsstellung erforderlicher Maßnahmen in einer Vielzahl von pädiatrischen Notfällen ist (Anhang RR 1C; [106, 107]). Die Technologie entwickelt sich weiter und die laufende Forschung

erweitert den Einsatz von POCUS auf neue klinische Szenarien. Eine Schulung ist erforderlich, um die Anwendung zu standardisieren und zu erweitern. Leitlinien für die Praxis von POCUS in pädiatrischen Notfällen wurden veröffentlicht [108].

POCUS und die Lunge

Jüngste Veröffentlichungen heben den Mehrwert von Lungen-POCUS beim pädiatrischen respiratorischen Versagen hervor [109–118]. POCUS hat mindestens eine ähnliche Sensitivität und Spezifität wie Röntgenaufnahmen des Thorax zur Diagnose einer Lungenentzündung im Kindesalter und kann je nach Anwendungskontext eine bessere Kosten- und Zeiteffizienz vorweisen. POCUS ist genauer bei Pleuraergüssen oder Pneumothorax und hilft beim Durchführen der Nadeldekompression und Thorakostomie. Es wurde auch als Hilfsmittel zur Bestätigung der korrekten Platzierung des Trachealtubus beschrieben, allerdings ist die Evidenz bei Kindern begrenzt [119, 120].

POCUS bei Kreislaufversagen

Bei adäquater Ausbildung scheint die Genauigkeit der Echokardiographie, die von Nichtkardiologen durchgeführt wird, sehr gut zu sein [121]. Kinderärzte und pädiatrische Notfallmediziner mit gezielter Ausbildung konnten Perikardergüsse, Anomalien der Herzkontraktilität und linksventrikuläre Dilatation genau diagnostizieren. Weitere mögliche Anwendungen sind der Nachweis der Herzbeutel tamponade, dilatativer Kardiomyopathien, angeborener Herzkrankungen und infektiöser Endokarditiden.

Bei Erwachsenen wurde POCUS auch als Steuerung der Behandlung von Schock empfohlen, die Evidenz bei Kindern ist allerdings begrenzt. In einer systematischen Übersichtsarbeit wirkte sich die Atemvariabilität des Durchmessers der unteren Hohlvene (Vena cava inferior) nur mäßig (gepoolte Spezifität 0,73) auf die Vorhersage bezüglich Ansprechen der Flüssigkeitstherapie aus [122]. Wichtig ist, dass ein negativer Ultraschallbefund nicht verwendet werden kann, um den Nutzen der Flüssig-

keitstherapie auszuschließen (gepoolte Sensitivität 0,63). Standardmesswerte der Vena cava inferior/Aorta bei Kindern sind nicht für alle Altersgruppen gut etabliert, mehrere Untersuchungen hintereinander können daher nützlicher sein, um die Therapiemaßnahmen zu steuern [110, 123]. Die Lungenultraschallsonographie könnte eine Rolle bei der Steuerung der Flüssigkeitstherapie bei Sepsis im Kindesalter spielen. Die Anzahl der B-Linien in der Lungenultraschallsonographie scheinen mit der extravaskulären Lungenflüssigkeit bei Kindern zu korrelieren [124, 125].

Erweiterte FAST-Untersuchung (E-FAST) bei pädiatrischem Trauma

Die Evidenz für E-FAST-Sonographie bei Kindern ist weitaus begrenzter als bei Erwachsenen und zudem widersprüchlich. Die Abdomensonographie scheint nur eine eingeschränkte Sensitivität für den Nachweis eines Hämato-peritoneums zu haben [126–128]. Basierend auf den verfügbaren Daten empfiehlt die Leitliniengruppe PLS den FAST nicht als einzigen diagnostischen Test, um intraabdominale Blutungen auszuschließen. Die FAST-Untersuchung kann in andere Aspekte der Traumabewertung einbezogen werden, um die Genauigkeit des Tests zu verbessern. Beobachtungsdaten zeigen, dass eine FAST-Untersuchung bei verletzten Kindern bei sehr geringem (< 1%) und sehr hohem Risiko (> 10%) für intraabdominale Verletzungen nur begrenzte Auswirkungen auf die Durchführung von CT-Untersuchungen des Abdomens hat. Die Anwendung von FAST bei Kindern mit einem 1–10%igen Risiko für intraabdominale Verletzungen verringerte jedoch die Häufigkeit der durchgeführten Abdomen-CT-Untersuchungen. Eine kleine Studie zeigte, dass in Kombination mit Transaminasewerten > 100 IE/l die Spezifität der FAST-Untersuchung 98% betrug, was darauf hindeutet, dass ein negatives FAST und Transaminasen < 100 IE/l zu einer Patientenbeobachtung anstelle einer CT-Untersuchung des Abdomens führen könnten. Die erweiterte FAST-Untersuchung („extended FAST“) umfasst die Sonographie von Herz und Lunge, die eine viel höhere Genauigkeit und

einen viel höheren Informationsgehalt aufweist.

Teamarbeit

Das ILCOR COSTR 2020 schlug ein spezifisches Teamtraining als Teil der EPALS-Schulung für professionelle Helfer vor (schwache Empfehlung, sehr schwache Evidenz; [129]). Es wurde speziell der Einfluss eines teambasierten Ansatzes auf das Outcome und Faktoren, die gute Teamarbeit ausmachen, untersucht (Teameffektivität; Anhang RR 2).

Trotz der großen Menge an Literatur ist die Evidenzbasis für Teamarbeit begrenzt. Frühere Veröffentlichungen wiesen darauf hin, dass mangelnde Teamarbeit und Kommunikationsfehler wichtige Gründe für medizinische Fehler und ein schlechteres Outcome („adverse outcomes“) darstellen [130]. Darauf und auf der identifizierten Literatur in der RR basierend empfiehlt die Leitliniengruppe PLS einen teambasierten Ansatz zur Akutbehandlung kritisch kranker Kinder. Die strukturierte Implementierungsstrategie für diejenigen, die dies noch nicht umgesetzt haben, sowie eine fortlaufende Bewertung der Effektivität für diejenigen, die bereits einen teambasierten Ansatz verwenden, kann nicht genügend betont werden. Ein teambasierter Ansatz hat viele entscheidende Faktoren und ist mehr als nur das Zusammenführen verschiedener Fachkräfte im selben Raum [131–139]. Idealerweise sollen verschriftlichte Notfallprotokolle in allen Abteilungen vorhanden sein, in denen möglicherweise Kinder versorgt werden. Neue Teammitglieder sollen idealerweise in Teamarbeit und den spezifischen vorhandenen Protokollen geschult werden, um gemeinsame mentale Modelle zu etablieren. Dieser kontinuierliche Ausbildungsprozess soll ein wesentlicher Bestandteil der Implementierungsprotokolle eines teambasierten Ansatzes sein.

Darüber hinaus möchte die Leitliniengruppe PLS die möglichen negativen Auswirkungen von unhöflichem Verhalten und anderen externen Stressfaktoren auf die Leistung hervorheben [140–142]. Alle Teammitglieder, insbesondere der Teamleiter, sollen daran arbeiten, eine

Kultur zu etablieren, die unhöfliches Verhalten verhindert.

Schließlich stimmt die Leitliniengruppe PLS mit dem ILCOR EIT437 COSTR überein, der eine Verbindung zwischen Häufigkeit durchgeführter Reanimationen und Outcome vorschlägt [129]. Sie schlugen vor, dass Rettungsdienstbereiche und Versorgungssysteme: 1) die Häufigkeit durchgeführter Reanimationen ihres klinischen Personals überwachen und 2) nach Möglichkeit Strategien implementieren sollen, um einer geringen Erfahrung entgegenzuwirken oder sicherzustellen, dass Behandlungsteams Mitglieder mit häufiger Durchführung beinhalten (schwache Empfehlung, sehr schwache Evidenz).

Werkzeuge und Regeln zur Berechnung von Medikamentendosierungen

Die Leitliniengruppe PLS stützte ihre Erkenntnisse weitgehend auf die 2020 ILCOR EvUp PLS 420 [143], 3 zusätzliche SR [144–146] sowie eine Leitlinie [147] und identifizierte die Notwendigkeit einer Änderung der aktuellen Empfehlungen in Bezug auf die Methoden zur Gewichtsschätzung (Anhang RR 3). Die Dosierung von Notfallmedikamenten erfordert eine funktionierende Schätzung des Gewichts des Kindes. Die Schätzungen der Eltern sind in der Regel genauer als die Schätzungen der professionellen Helfer. Längenbasierte Methoden wie das Broselow-Band sind ebenfalls genau, unterschätzen jedoch tendenziell das Gewicht in Populationen mit einer hohen Inzidenz von Adipositas. Systeme, die eine Korrektur für den Habitus des Körpers (z. B. Pawper) enthalten, sind genauer. Solche Systeme enthalten häufig eine vorberechnete Dosierungsempfehlung für Notfallmedikamente, von der gezeigt wurde, dass sie Verabreichungsfehler reduziert. Schätzungen der professionellen Helfer und altersbezogene Formeln sind ungenau und werden daher nicht empfohlen. Obwohl die Pharmakokinetik einiger Medikamente (z. B. Fentanyl, Propofol, Midazolam) zwischen adipösen und nichtadipösen Kindern variiert, gibt es zwischen Medikamenten und Einzelpersonen zu viele

Unterschiede, um eine spezifische Strategie zur Korrektur dieser Variationen befürworten zu können.

Atemwegsmanagement bei kritisch kranken Kindern

Wir haben in unsere Analyse eine Leitlinie aufgenommen [24], 3 SR [148–150], 9 narrative Reviews [151–159], 2 RCT [160, 161] und 27 Beobachtungsstudien (Anhang RR 4.1; [162–188]).

Insgesamt sind die bei Kindern verfügbaren Daten schwach und basieren hauptsächlich auf Beobachtungsstudien (Registerdaten). Hinweise aus Erwachsenenstudien oder aus dem Operationssaal sollen als indirekt angesehen werden. Da Praxis und Teamzusammensetzung zwischen Regionen und von Situation zu Situation sehr unterschiedlich sind, kann man keine universellen Schlussfolgerungen ziehen.

Es gibt Hinweise darauf, dass die endotracheale Intubation durch Helfer mit begrenzter Erfahrung das Outcome beeinflusst. Dies gilt umso mehr in komplexen Situationen (z. B. kleines Kind, hämodynamische Instabilität). Obwohl etwa 5% der Kinder, welche vom Rettungsdienst versorgt werden, ein Verfahren der Atemwegssicherung benötigen, ist die Exposition einzelner Helfer häufig viel geringer als erforderlich. Jede der vorhandenen Techniken für ein erweitertes Atemwegsmanagement (endotracheale Intubation mit oder ohne Videolaryngoskopie, SGA, Beutel-Maske-Beatmung mit zusätzlichen Atemweghilfen) hat ihre eigenen Vor- und Nachteile. Kompetente Helfer sollen diese kennen. Wichtig ist, dass sich die Teams so weit wie möglich strukturiert und zeitnah vorbereiten, bevor sie Verfahren zum Atemwegsmanagement durchführen. Diese Vorbereitung beinhaltet die Berücksichtigung von Alternativen und Rückfallebenen.

Trotz des Hinweises auf ein schlechteres Outcome in bestimmten Situationen bleibt die endotracheale Intubation für viele professionelle Helfer die bevorzugte Methode zur Sicherung des Atemwegs eines kritisch kranken oder verletzten Kindes. Das Risiko eines fehlgeschlagenen oder falsch positionierten

endotrachealen Tubus bei Kindern ist signifikant höher als bei Erwachsenen. Mehrere endotracheale Intubationsversuche sind mit einem erhöhten Risiko für Hypoxämie, Entsättigung, unerwünschter hämodynamischer Ereignisse und nachfolgend erhöhter Morbidität und Mortalität verbunden. Die Anzahl der Versuche soll daher reduziert und ein alternatives Atemwegsmanagement frühzeitig in Betracht gezogen werden. Helfer sollen immer das Gleichgewicht zwischen dem vermuteten Nutzen und dem Risiko eines Schadens bewerten, wenn sie eine endotracheale Intubation in Betracht ziehen und nicht nur auf der Grundlage vordefinierter dogmatischer Regeln (z. B. GCS \leq 8, Prozentsatz der verbrannten Körperoberfläche) oder ohne vorherige Berücksichtigung von Alternativen entscheiden. Bei Kindern sind schwierige Atemwege aufgrund der Anatomie selten anzutreffen, sondern entstehen gewöhnlich durch physiologische und situative Schwierigkeiten (z. B. mangelnde Vorbereitung; [158]). Die Bedingungen können durch Standardisierung der Ausrüstung und ihrer Anwendung, Verwendung von Checklisten, multidisziplinäre Teamschulungen in technischen und nichttechnischen Aspekten der Notfallintubation und regelmäßige Leistungsüberprüfungen optimiert werden.

In vielen Untersuchungen scheint die Beutel-Maske-Beatmung der endotrachealen Intubation zumindest nicht unterlegen zu sein. Das Erlernen der Beutel-Maske-Beatmung ist eine weitaus einfachere Fähigkeit und soll von allen Helfern beherrscht werden, die an der Betreuung kritisch kranker Kinder beteiligt sind. Um die Effizienz zu optimieren, können Helfer entweder eine 2-Personen-Technik und/oder eine zusätzliche Atemwegshilfe verwenden. Die meisten Schwierigkeiten bei der Maskenbeatmung können überwunden werden, indem anatomische (z. B. unter Verwendung von Atemwegshilfen oder einer SGA) oder funktionelle (z. B. Muskelrelaxation) Atemwegsobstruktionen erkannt und behandelt werden. Vermeiden Sie die Relaxierung bei Kindern mit Mukopolysaccharidose, Atemwegsverletzungen durch Fremdkörper oder externe

Kompression der Atemwege. In vielen anderen Situationen ermöglichen Muskelrelaxanzien vor der endotrachealen Intubation jedoch eine kontrollierte Beatmung und führen zu weniger Komplikationen („adverse events“). Schwierigkeiten bei der Beutel-Maske-Beatmung sollen nicht zu einem überstürzten endotrachealen Intubationsversuch führen, sondern als Warnzeichen („red flag“) für eine gründlichere Vorbereitung dienen.

Eine Notfallkoniotomie (Front-of-Neck-Atemweg, FONA) bei Kindern soll nur als letzter Ausweg in einer Cannot-ventilate-cannot-intubate-Situation versucht werden. Es ist schwierig, ausreichend Fachwissen für diese Situation zu erlangen, insbesondere angesichts der Variabilität der Anatomie der verschiedenen Altersstufen. In den meisten Fällen wird eine Nadelkoniotomie mit Jet-Beatmung angewendet. Chirurgische Koniotomieverfahren sind äußerst selten. Es gibt keine Hinweise darauf, dass eine schnellere Entscheidung für die Koniotomie (FONA) das Gesamtüberleben ohne neurologische Beeinträchtigung erhöhen würde. Wichtig ist, dass Cannot-ventilate-cannot-intubate-Situationen, in denen Patienten nicht mit Sauerstoff versorgt werden können, möglicherweise aus einem früheren suboptimalen Atemwegsmanagement und wiederholten endotrachealen Intubationsversuchen resultieren. Daher betonen die meisten Autoren zunächst die Bedeutung anderer Atemwegstechniken.

Die Verwendung von etCO₂ während der Intubation

Das 2020 ILCOR EvUp (PLS 385) bestätigte die frühere Empfehlung, etCO₂ für intubierte Kinder mit einem Herzrhythmus mit Perfusion in allen Situationen zu verwenden [143]. In Anbetracht dessen und unter Berücksichtigung des potenziellen Schadens von endotrachealen Fehllagen oder unentdeckter Tubusdislokationen wird die Kapnographie als ein wesentliches Instrument für die Lagekontrolle bei Kindern angesehen. Eine ordnungsgemäße Beurteilung der Tubuslage soll auch eine klinische Beurteilung und entweder eine Ultraschall- oder eine Röntgendarstellung einschließen (Anhang RR 4.2).

Die Verwendung des Krikoiddrucks (Sellick-Manöver) zur Intubation

Der 2020 ILCOR EvUp (PLS 376) bestätigte die frühere Empfehlung, den Krikoiddruck (Sellick-Manöver) abzubrechen, wenn er die Beatmung behindert oder die Geschwindigkeit oder Handhabung der Intubation beeinträchtigt [143]. Es konnten ferner ein SR [189] und 2 überlappende klinische Studien gefunden werden (Anhang RR 4.3; [190, 191]). Es ließen sich keine ausreichenden Evidenzen finden, die Verwendung des Krikoiddrucks zu empfehlen, um eine Regurgitation oder eine Aspiration während einer „rapid sequence induction“ (RSI) oder einer endotrachealen Intubation bei Kindern zu verhindern. In der Notsituation kann dies die Vorgehensweise des Atemwegsmanagements bei Kindern und Kleinkindern beeinträchtigen.

Videolaryngoskopie

Die verfügbare Evidenz für die Anwendung der Videolaryngoskopie bei schwerkranken Kindern ist überschaubar (Anhang RR 4.4). Primäre Endpunkte in den meisten Studien waren die Zeit bis zur Intubation oder die Erfolgsrate des ersten endotrachealen Intubationsversuchs. Einige SR deuten auf ein erhöhtes Risiko einer verlängerten Intubationszeit und einer erfolglosen Intubation mit Videolaryngoskopie hin [192–194]. Neuere RCT- und Beobachtungsstudien deuten auf einen Vorteil hin, aber die Evidenzen bleiben widersprüchlich [195–202]. Wichtig ist, dass ein solcher Vorteil stark davon abhängt, wer die Intubation durchführt, welche Technik und welches Gerät für welche Indikation verwendet werden. Diejenigen, die die Videolaryngoskopie verwenden möchten, sollen entsprechend geschult sein. Es gibt viele Geräte, die sich in der Technik unterscheiden, aber es gibt keine Evidenz dafür, dass eines dem anderen überlegen ist. In Anbetracht dessen kann sich die Leitliniengruppe PLS nicht für oder gegen die Verwendung der Videolaryngoskopie gegenüber der direkten Laryngoskopie in der Notfallsituation aussprechen. Die Entscheidung für die Videolaryngoskopie und für welche Indikation sie verwendet wird, liegt im Ermessen des zuständigen Arztes, der

den Eingriff durchführt. Das Videolaryngoskop soll früher in Betracht gezogen werden, wenn eine direkte Laryngoskopie voraussichtlich schwierig ist, z. B. bei manueller Inline-Stabilisierung der Halswirbelsäule.

Die Verwendung von Atropin zur Intubation

Ein 2020 ILCOR EvUp (PLS 821) fand keine neuen Evidenzen, um eine Empfehlung zu ermöglichen [143]. Bradykardien treten während der Intubation, vermutlich aufgrund von Hypoxie oder Vagusstimulation durch die Laryngoskopie, auf. Diese vorübergehende Bradykardie geht mit einer Vasokonstriktion einher und reagiert normalerweise auf eine erneute Oxygenierung und die Beendigung der Vagusstimulation. Einige Medikamente zur Narkoseeinleitung induzieren jedoch auch eine Bradykardie, die mit einer Vasodilatation einhergehen kann und zu einer instabilen Bradykardie führen könnte. Im Zusammenhang mit einem Kind, mit beispielsweise Sepsis, führt diese Bradykardie zu einem niedrigen Herzzeitvolumen und einer Hypoperfusion, die möglicherweise tödlich sein kann [203]. Bei kleinen Kindern kann die Inzidenz von Rhythmusstörungen verringert werden, wenn Atropin zusätzlich zu den für die Notfallintubation verwendeten Medikamenten gegeben wird [204]. Die Verwendung von Atropin verringert die Inzidenz von Bradykardien während der Intubation sowohl bei Neugeborenen als auch bei älteren Kindern. Die Folgen einer solchen Bradykardie sind unklar [205–207].

Atropin kann zur Intubation kritisch kranker Kinder (1 Monat–8 Jahre) verwendet werden, um die Inzidenz von Bradykardien und Rhythmusstörungen zu verringern, insbesondere bei jüngeren Kindern, wenn Suxamethonium verwendet wird und/oder wenn eine Vasodilatation vorliegt (Anhang RR 4.5).

Die Verwendung von Trachealtuben mit Cuff

Ein 2020 ILCOR EvUp (PLS 412) fand keine neue Evidenz, um die nicht eindeutige Empfehlung von 2010 zu ändern [143]. Die Leitliniengruppe PLS stimmt den spezifischen Erkenntnissen der Au-

toren dieses EvUp zu, die sich für die ausschließliche Verwendung von Endotrachealtuben mit Cuff für den ALS im „Kindesalter aussprechen, um die Tubenauswahl zu reduzieren und Auswahlfehler zu vermeiden. Desweiteren führt der gecuffte Tubus zur Verbesserung der Genauigkeit der Kapnographie, weniger Umin-tubationen, zuverlässigerer VT-Applikation und/oder der Beatmungsdrücke, Verringerung von Halsschmerzen, Verringerung des Aspirationsrisikos und Standardisierung der Praxis. Wenn weiterhin sowohl gecuffte als auch nicht gecuffte Tuben unterstützt werden, müssten 4 Tuben (2 Tuben pro Größe und Typ) vorgehalten werden (Anhang RR 4.7). MRT-Bilder haben,“ entgegen der gängigen Lehrmeinung, gezeigt, dass der Krikoidring bei Kindern eher elliptisch als kreisförmig ist [208]. Daher kann es immer noch zu einer Leckage um einen perfekt dimensionierten kreisförmigen Trachealtubus ohne Cuff kommen, während der Tubuscuff einen erhöhten Druck auf andere Bereiche der Trachealschleimhaut verursacht. Wenn Trachealtuben mit Cuff verwendet werden, soll der Cuffdruck gemäß den Empfehlungen des Herstellers gemessen und begrenzt werden. Die traditionellen Regeln für die Tubenauswahl je Alter wurden für Tuben ohne Cuff festgelegt und überschätzen daher wahrscheinlich die optimale Größe von Endotrachealtuben mit Cuff.

Die Verwendung von zusätzlichem Sauerstoff bei der Behandlung kritisch kranker oder verletzter Kinder

Der RR identifizierte 3 Leitlinien [29, 66, 209], 2 SR [210, 211], 3 RCT [212–214] und eine Beobachtungsstudie [215] zum Thema (Anhang RR 5.1). Die Ergebnisse sowohl der Oxy-PICU-Studie als auch der COAST-Studie werden wahrscheinlich unsere Leitlinien weiter beeinflussen, sind jedoch noch nicht verfügbar [216, 217]. Die Verwendung von zusätzlichem Sauerstoff vor der endotrachealen Intubation (RR 4.1), bei Kreislaufstillstand (RR 28) und nach ROSC (RR 36.2) werden separat angegeben. Zusätzlicher Sauerstoff war bis vor Kurzem eine Säule der Behandlung von praktisch jedem kritisch kranken oder verletzten Kind. Wachsen-

de Bedenken hinsichtlich der möglichen negativen Auswirkungen der Hyperoxygenierung haben zu einer Änderung der Leitlinien bei Erwachsenen und Neugeborenen geführt. Die Leitliniengruppe PLS fürchtet jedoch bei zurückhaltender Verwendung von Sauerstoff das Risiko einer versehentlichen Hypoxämie, insbesondere in Situationen, in denen eine kontinuierliche Überwachung schwierig ist, wie z. B. im präklinischen Setting oder bei Schockzuständen. Zu viel zusätzlicher Sauerstoff birgt allerdings ein unklares Risiko und ist zudem kostspielig, insbesondere bei begrenzten Ressourcen. So lange die Evidenz limitiert ist, muss jede Leitlinie über die Verwendung von zusätzlichem Sauerstoff die lokale Situation berücksichtigen. Sauerstoff kann auf viele Arten appliziert werden. Der Helfer muss die möglichen Sauerstoffkonzentrationen des Geräts, die FiO₂-Anforderungen und die Eignung des Geräts für den Einsatz bei Kindern kennen. Bei Kindern mit bestimmten chronischen Erkrankungen oder bestehenden Herzerkrankungen soll die Sauerstofftherapie auf die zugrundeliegende Erkrankung, den SpO₂-Ausgangswert (Baseline; falls bekannt) und den Prozess der Erkrankung zugeschnitten sein. Ein frühzeitiges Heranziehen fachkundiger Expertise ist ratsam. Deutlich seltener als bei Erwachsenen führt hochkonzentrierter Sauerstoff bei einigen Kindern mit chronischen Erkrankungen (RR 9) auch zu einer Hypoventilation [213].

Nichtinvasive Beatmung und High-Flow-Therapie (HFNC)

In Ermangelung eines spezifischen COSTR zu diesem Thema wurde ein RR durchgeführt (Anhang RR 5.2). Die Ergebnisse des großen multizentrischen RCT „FIRST ABC“ zum Vergleich von HFNC mit nasalem CPAP in der pädiatrischen Intensivmedizin liegen noch nicht vor [218].

Invasive Beatmung kann die Lunge schädigen, birgt ein erhöhtes Risiko für Sekundärinfektionen, ist teuer und erfordert mehr Analgosedierung. Nichtinvasive Beatmung hingegen wird von Kindern manchmal schlecht getragen, setzt voraus, dass Kinder noch über einen ausreichenden Atemtrieb

verfügen und kann zu einer Verzögerung einer notwendigen Therapieintensivierung führen. Nasales CPAP und HFNC verbessern die Atmungs- und Sauerstoffversorgung durch Bereitstellung eines PEEP und ermöglichen eine zuverlässige Abgabe hoher Konzentrationen an warmem, befeuchtetem Sauerstoff. HFNC scheint die alveoläre Ventilation zu verbessern, erhöht jedoch nicht aktiv das inspiratorische Tidalvolumen (VT). Sowohl HFNC als auch NIV scheinen einfach und sicher in der Implementierung zu sein [219–230]. Derzeit gibt es keine ausreichende Evidenz, insbesondere wenn auch die möglichen Auswirkungen auf die Ressourcen berücksichtigt werden, um für oder gegen ihre Verwendung bei Hypoxämie aufgrund nichtpulmonaler Ursachen oder bei einem kompensierten respiratorischen Versagen ohne Hypoxämie zu stimmen [231]. Die Entscheidung, HFNC oder NIV in diesen Gruppen von Kindern zu verwenden, wird in der Regel von einem Intensivmediziner auf einer Intensivstation getroffen. Bei Kindern mit respiratorischem Versagen und Hypoxämie (z. B. aufgrund einer Bronchiolitis oder Lungenentzündung) kann NIV oder HFNC das Outcome verbessern und eine weitere Verschlechterung verhindern. Dies ist besonders wichtig in ressourcenbegrenzten Gebieten, in denen häufig kein Zugang zu qualitativ hochwertiger Intensivmedizin besteht [232–236]. HFNC oder CPAP soll bei Säuglingen mit Bronchiolitis und Hypoxämie begonnen werden, die nicht auf Sauerstoff mit geringem Fluss ansprechen [228]. Hinweise mit sehr geringer Evidenzklasse legen nahe, dass ein Flow von 1 l/kgKG/min genauso effektiv sein könnte wie 2 l/kgKG/min [237]. Obwohl HFNC das Risiko einer Tröpfchen- und Kontaktinfektion möglicherweise nicht erhöht, führt es wahrscheinlich zu vermehrter Aerosolverteilung [238]. In Situationen, in denen dies ein Problem darstellen könnte, empfehlen wir die Verwendung von HFNC nur unter der Voraussetzung eines garantierten Aerosolschutzes.

Ventilation

Es existieren 3 aktuelle Leitlinien [24, 209, 239] und 6 Beobachtungsstudien [240–245] sowie mehrere zusätzliche ältere Studien oder Beiträge mit indirekten Nachweisen zu diesem Thema (Anhang RR 6). Details zur mechanischen Beatmung und zum PICU-Management gehen über den Rahmen dieser Leitlinien hinaus. Details hierzu können aktuellen Reviews und Leitlinien entnommen werden [246–249].

Das Beatmungsvolumen wird sowohl vom Tidalvolumen als auch von der Atemfrequenz beeinflusst. Ein Tidalvolumen von 6 bis 8 ml/kg IBW unter Berücksichtigung des Totraums (Equipment) ist ein geeignetes Ziel [209, 249, 250]. Der Totraum des Geräts kann durch Verwendung kindgerechter Schlauchsysteme und Reduzierung zusätzlicher Gänsegurgeln verringert werden. Die Beurteilung eines angemessenen Tidalvolumens ist möglich, indem die Thoraxexkursionen beobachtet und der $p\text{CO}_2$ -Trend gemessen wird.

Passen Sie die Beatmung an, um bei Kindern mit normaler Lungenfunktion einen normalen arteriellen $p\text{CO}_2$ zu erzielen. Bei akut kranken Kindern ist zur Herstellung der Normalwerte möglicherweise eine übermäßig aggressive Beatmung erforderlich. In diesem Fall kann eine permissive Hyperkapnie als Standardpraxis angesehen werden, es sei denn, es liegt eine pulmonale Hypertonie oder ein schweres SHT vor.

Selbstfüllende Beatmungsbeutel werden offenen Systemen gegenüber zur Beatmung für alle Helfer bevorzugt, die nicht speziell in der Verwendung eines Anästhesiebeckens geschult sind. Selbstfüllende Beatmungsbeutel sollen die richtige Größe haben, um ein ausreichendes Tidalvolumen zu ermöglichen und gleichzeitig eine übermäßige Inflation und versehentliche Mageninsufflation zu vermeiden. Bestehende Beatmungsbeutel variieren zwischen 180 und 240 ml (Neugeborene), 450 und 650 ml (Kinder) und 1300 und 1600 ml (Erwachsene). Anwender sollen sich darüber im Klaren sein, dass durch die Einhandkompression eines Beutels für Erwachsene leicht Volumina über 500 ml erzeugt wer-

den können [244, 251]. Die Beutel-Maske-Beatmung ist einfach und stellt die Hauptstütze der anfänglichen Beatmungsunterstützung dar. Sie ist jedoch nicht ohne Risiken und erfordert eine sachgemäße Schulung der Helfer [252, 253].

Eine einhändige Beutel-Maske-Beatmungstechnik gibt dem Helfer mehr Handlungsfreiheit, erhöht jedoch das Leckagerisiko. Wir befürworten daher einen Zwei-Helfer-Ansatz in allen Fällen, in denen entweder Schwierigkeiten mit Dichtigkeit der Maske am Gesicht bestehen oder das Risiko einer Übertragung von Infektionskrankheiten über Aerosole besteht. Im letzteren Fall soll zwischen Beutel und Maske zusätzlich ein Virusfilter angewendet werden [7].

Während der Wiederbelebung kann die Beatmung auch von Mund zu Mund oder von Mund zu Mund und Nase erfolgen. Dies ist weniger effizient als die Beutel-Maske-Beatmung und ermöglicht keine zusätzliche Sauerstoffversorgung. Darüber hinaus schützt es den Helfer nicht vor der Übertragung von Infektionskrankheiten. Die Angst davor könnte ein Hindernis für die Helfer darstellen, überhaupt Beatmungen zu verabreichen.

Flüssigkeitstherapie bei Kreislaufversagen

Dieser RR betrifft die Flüssigkeitstherapie während der ersten Stunde nach Erkennen eines Schocks und ist Teil einer allgemeinen Empfehlung zur Behandlung von Kindern im Schock (Anhang RR 7.1). Die Flüssigkeitstherapie zu einem späteren Zeitpunkt kann ebenfalls Einfluss auf das Outcome haben, geht jedoch über den Rahmen dieses Reviews hinaus. Wir haben den ILCOR EvUp 2020 zum Flüssigkeitsbolus bei septischem Schock (PLS1534) und den Scoping-Review zur abgestuften Volumentherapie bei traumatischem Schock (PLS 400) sowie verschiedene Leitlinien, SR und klinische Studien zu diesem Thema aufgenommen [143]. Die Ergebnisse sowohl der SQUEEZE- als auch der ProMPT-Bolus-Studie werden derzeit noch erwartet [254, 255].

Es ist schwierig, einzelne Interventionen im facettenreichen Management der

Sepsis zu untersuchen. Aufgrund nicht eindeutiger Leitlinien, die auf schwacher Evidenzlage beruhen und sehr kontextbezogenen sind, gibt es derzeit große Unterschiede in der Behandlung, die für das einzelne Kind nicht förderlich sind. Die frühe zielgerichtete Therapie („early goal-directed therapy“, EGDT) war die Hauptstütze der weltweiten Surviving-Sepsis-Kampagnen, neuere RCT haben allerdings gezeigt, dass diese Strategie das Outcome nicht verbessert.

Schock ist keine eigene Erkrankung, sondern das Endstadium vieler verschiedener Pathologien. Es existieren viele Subtypen des Schocks: hypovolämisch, kardiogen, obstruktiv, distributiv und dissoziativ. Darüber hinaus zeigt das Kreislaufversagen eine klinische Bandbreite als Ergebnis mehrerer begleitender Prozesse, die sowohl mit dem Erreger als auch mit der Reaktion des Wirts zusammenhängen. Die Behandlung soll individuell unter Berücksichtigung der zugrundeliegenden Ätiologie und Pathophysiologie, des Alters, des Kontexts, der Komorbiditäten und der verfügbaren Ressourcen gewählt werden [256]. Eine Strategie wiederholter Reevaluation und mit umsichtigen, aber präzisen Behandlungsschritten erscheint sinnvoll.

Vermuteter septischer Schock

Obwohl der septische Schock bei Säuglingen und Kindern weltweit immer noch zu einer signifikanten Mortalität und Morbidität führt, ändert sich die Prävalenz und das Erscheinungsbild aufgrund von Impfungen, Komorbiditäten und Immunsuppression [257–259]. Die Behandlungsstrategien und die Prognose bestimmter Arten von septischem Schock (z. B. toxischer oder neutropenischer Schock) variieren erheblich. Bis vor Kurzem wurde die frühzeitige aggressive Flüssigkeitstherapie als wichtigste Maßnahme im Rahmen des septischen Schocks bei Kindern angesehen, obwohl dies auf sehr schwacher Evidenz beruhte. Die Veröffentlichung der FEAST-Studie stellte diese Strategie infrage [260]. Es wird derzeit diskutiert, wie die FEAST-Ergebnisse allgemein anwendbar sind und wie diese unsere Praxis beeinflussen sollen [261, 262]. Die meisten bestehenden Protokolle empfehlen weiterhin

wiederholte Flüssigkeitsboli mit 20 ml/kgKG während der ersten Stunde des septischen Schocks im Kindesalter, um einer vermuteten Hypovolämie aufgrund eines Kapillarlecks entgegenzuwirken [29, 256]. Die kürzlich aktualisierten Leitlinien der Surviving Sepsis Campaign empfehlen in Situationen, in denen Intensivmedizin zur Verfügung steht, Bolusgaben von 10 bis 20 ml/kgKG mit einem Maximum von 40 bis 60 ml/kgKG in der ersten Stunde. Wenn kein Zugang zur Intensivstation besteht, werden weiterhin Flüssigkeitsboli empfohlen, jedoch nur bei nachgewiesener Hypotonie (10–20 ml/kgKG bis zu 40 ml/kgKG in der ersten Stunde).

Aktuelle Erkenntnisse deuten darauf hin, dass ein restriktiverer Einsatz der Flüssigkeitstherapie mindestens genauso effektiv ist und Nebenwirkungen verringern könnte. Schon ein einziger Flüssigkeitsbolus kann die Atemfunktion beeinträchtigen. Die Perfusion verbessert sich in der ersten Stunde nach einem Flüssigkeitsbolus, dieser Effekt bleibt allerdings nicht bestehen [124, 262, 263]. Die Identifizierung von Kindern mit distributivem Schock, welche Flüssigkeit benötigen, ist eine Herausforderung, da andere Gründe für Sauerstoffunterversorgung des Gewebes ähnliche klinische Befunde ergeben. Noch schwieriger ist es, herauszufinden, welche Kinder auf die Flüssigkeitsgabe reagieren werden. Klinische Symptome, zusammen mit biochemischen Laborwerten (pH, Laktat), ergeben eine akzeptable Aussagekraft, wenn sie kombiniert werden, jedoch nicht, wenn sie einzeln betrachtet werden. Die Ultraschalluntersuchung zur Abschätzung der Reaktion auf die Flüssigkeitsgabe gewinnt zunehmend an Bedeutung, aber es fehlen noch die Studien, die ihre Rolle bei Kindern belegt. Auf der anderen Seite kann die Echokardiographie helfen, Myokardfunktionsstörungen und Hypovolämien frühzeitig zu erkennen.

In Anbetracht des Wissensstands empfiehlt die Leitliniengruppe PLS mit 10 ml/kgKG geringere Flüssigkeitsbolusgaben. Diese kleineren Volumina ermöglichen eine schnellere Reevaluation, begrenzen jedoch nicht notwendigerweise die Gesamtmenge an Flüssigkeit, die in der ersten Stunde der Behand-

lung verabreicht werden soll. Ein Kind benötigt im Einzelfall tatsächlich Volumina von bis zu 40 bis 60 ml/kgKG, um den Schock adäquat zu behandeln. Bei wiederholten Flüssigkeitsboli sind die frühzeitige Berücksichtigung von vasoaktiven oder inotropen Medikamenten und die Unterstützung der Atmung von entscheidender Bedeutung. In Situationen, in denen diese Optionen nicht ohne Weiteres verfügbar sind, erscheint es ratsam, noch restriktiver zu sein. Ebenso wichtig ist die Art der verwendeten Flüssigkeit [29, 262, 264]. Es scheint Konsens darüber zu bestehen, synthetische Kolloide zu vermeiden. Die aktuellen Daten zu hypertonen Lösungen sind zu begrenzt, um eine Praxisempfehlung zuzulassen. Die allgemeine Empfehlung zur Verwendung von kristalloiden Vollelektrolytlösungen als primäre Flüssigkeitstherapie bleibt bestehen. Diese Vollelektrolytlösungen sind effektiv, kostengünstig und weit verbreitet [265, 266]. Die Evidenzbasis für balancierte kristalloide Vollelektrolytlösungen (z. B. Ringerlaktat) hingegen ist begrenzt. Systematische Überprüfungen zu diesem Thema zeigen lediglich einen Trend zu einem besseren Outcome [267–269]. Normale Kochsalzlösung (NaCl 0,9 %) induziert eine hyperchlorämische Azidose und ist mit einem schlechteren Outcome verbunden [262]. Angesichts der minimal höheren Kosten würde die Leitliniengruppe PLS daher balancierte Vollelektrolytlösungen als erste Wahl betrachten (und NaCl 0,9 % als akzeptable Alternative). Albumin scheint in Bezug auf das Outcome mindestens den balancierten Vollelektrolytlösungen gleichwertig zu sein, soll jedoch aufgrund der höheren Kosten die zweite Wahl sein [24]. Spezifische Krankheiten (z. B. Dengue-Fieber, zerebrale Malaria) können von einer früheren Verwendung von Albumin 4,5 % zur Volumentherapie profitieren [29, 270].

Der Schock wird durch den Grad der zellulären Sauerstoffunterversorgung definiert. Hämoglobin spielt eine wichtige Rolle und höhere Transfusionsziele können angemessen sein, wenn eine kardiovaskuläre Beeinträchtigung besteht. Es gibt nicht ausreichend Evidenz, um einen spezifischen Grenzwert für

eine Transfusion zu befürworten. Der Trend kann ebenfalls von Bedeutung sein. Die Wiederholung kristalloider Bolusgaben führt unweigerlich zu einer Hämodilution, ebenso kann diese durch die zugrundeliegenden pathophysiologischen Mechanismen entstehen.

Der septische Schock beeinflusst die Integrität der endothelialen Glykokalyx und der Kapillaren. Gerinnungsfaktoren werden aktiviert und verbraucht und eine disseminierte intravasale Gerinnungsstörung bei Kindern induziert, die durch die bereits bestehende Azidose und Verdünnung aggraviert wird. Es gibt nicht ausreichend Evidenz, um die prophylaktische Anwendung von Plasma bei allen Kindern mit septischem Schock zu befürworten. Wir empfehlen jedoch die frühzeitige Anwendung bei vermuteter diffuser intravasaler Gerinnung und sich verschlechternder Koagulopathie.

Kardiogener Schock

Der kardiogene Schock kann entweder primär oder sekundär zu anderen Schockarten auftreten. Die Diagnose basiert sowohl auf den klinischen Symptomen als auch auf der Echokardiographie. Nach der Bestätigung der Diagnose besteht das allgemeine Vorgehen darin, eine Volumenüberladung zu vermeiden. Allerdings können Patienten mit nachgewiesener verminderter Vorlast, die aufgrund klinischer oder biochemischer Gründe oder echokardiographisch angenommen wird, beispielsweise im Rahmen einer geringen Flüssigkeitsaufnahme oder einer damit verbundenen Sepsis von einer vorsichtigen Flüssigkeitstherapie profitieren [39].

Hypovolämischer nichthämorrhagischer Schock

Da der primäre Mechanismus des Kreislaufversagens bei hypovolämischem Schock der Flüssigkeitsverlust ist, ist die Hauptstütze der Behandlung die Flüssigkeitstherapie. Abhängig von der zugrundeliegenden Ätiologie kann jedoch auch ein distributiver oder kardiogener Schock vorliegen. Die Behandlung konzentriert sich außerdem im Verlauf auf die Behebung von Elektrolytstörungen und eine mögliche schwere Hypoalbuminämie oder Hypoglykämie, die die

klinische Beurteilung beeinträchtigen können [271, 272].

Eine massive akute Gastroenteritis kann zu schwerer Dehydratation (> 10 % Körpergewichtsverlust) und hypovolämischem Schock führen. Während die Inzidenz in vielen Ländern abnimmt, bleibt die schwere akute Gastroenteritis weltweit eine wichtige Ursache der Kindersterblichkeit. Die Mortalität ist bei Kindern mit schweren Komorbiditäten am höchsten, einschließlich solcher mit schwerer Unterernährung. Die Identifizierung von Kindern mit schwerer Dehydratation/hypovolämischem Schock aufgrund einer akuten Gastroenteritis ist nicht immer einfach und der Grad der Dehydratation wird oft überschätzt. In Anbetracht der Situation, in der häufig eine akute Gastroenteritis mit schwerer Dehydratation auftritt (begrenzte Ressourcen, Komorbiditäten), und der sehr begrenzt vorhandenen Evidenz ist ein bolusvermeidender Ansatz zur Flüssigkeitstherapie, außer wenn ein septischer Schock vorliegt, ratsam. Ein solcher Ansatz ist wahrscheinlich auch für Kinder mit schwerer Unterernährung sinnvoll [273–276].

Hämorrhagischer Schock

Blutverlust führt nicht nur zu einer Abnahme des Kreislaufvolumens, sondern auch der Blutbestandteile. Ziel der Therapie ist – abgesehen von der Wiederherstellung des Blutvolumens – die Blutung durch direkten oder indirekten Druck oder durch chirurgische Eingriffe oder Maßnahmen der interventionellen Radiologie zu stoppen. Koagulopathien aufgrund von Verbrauch, Blutverlust, Hämodilution durch Flüssigkeitstherapie, Azidose durch Hypoperfusion und/oder Hyperchlorämie und Hypothermie sind ausschlaggebend für die Pathophysiologie der traumabedingten Mortalität.

Erwägen Sie, während der Wiederbelebungsmaßnahmen von Kindern mit schwerem Trauma, Blutprodukte frühzeitig im Rahmen einer Strategie, die sich auf die Verbesserung der Gerinnungskonzentriert, zu verabreichen [277–284]. Die Flüssigkeitstherapie wird von bestimmten Endpunkten (MAD, Laktat, Hb, klinische Beurteilung, pH-Wert, Gerinnung) geleitet, um eine Volumenüberladung zu

vermeiden und dennoch eine ausreichende Gewebedurchblutung zu gewährleisten [285–287]. Daten von Erwachsenen legen nahe, dass eine übermäßig aggressive Flüssigkeitstherapie das Outcome verschlechtert, und unterstützen einen restriktiveren Ansatz, einschließlich einer permissiven Hypotonie [288–291]. Ein schweres Trauma im Kindesalter ist jedoch häufig mit einem SHT verbunden, bei dem eine restriktive Flüssigkeitsgabe schädlich sein kann. Selbst bei Kindern ohne Risiko einer damit verbundenen ZNS-Verletzung ist ein minimaler MAD über der 5. Perzentile erforderlich, um eine Hypoperfusion des Gehirns zu vermeiden.

Flüssigkeitstherapie bei Verbrennungen

Verbrennungsverletzungen sind eine spezielle Art von Trauma, bei dem der Flüssigkeitsverlust mit den Schäden der Haut zusammenhängt. Standardflüssigkeitsregime sind vorbeugender Natur und gehen daher über den Rahmen dieser Leitlinie hinaus [292]. Wichtig ist, dass ein frühes Kreislaufversagen bei diesen Patienten unabhängig vom Verlust von Verbrennungsflüssigkeit und hinweisend auf eine andere Ursache des Schocks sein könnte.

Gefäßzugang

Keinen zuverlässigen Gefäßzugang bei pädiatrischen Notfällen zu haben, wirkt sich negativ auf das Outcome aus, auch wenn die Evidenz dafür unzureichend ist. Die Etablierung eines Gefäßzugangs bei Kindern ist oft schwierig und mit dem Risiko wiederholter Versuche oder Misserfolge und den damit einhergehenden Komplikationen verbunden (z. B. Paravasat). Die Entscheidung für die richtige Technik hängt von der Erlernbarkeit und ihrer Effektivität ab, insbesondere aber in Bereichen mit weniger Ressourcen auch von Verfügbarkeit und Kosten. Unabhängig von der verwendeten Technik sollen diejenigen, die sie ausführen, in ihrer Anwendung geschult sein. Für diesen RR wurden 2 aktuelle SR berücksichtigt [293, 294], eine Leitlinie [29], 2 RCT [295, 296] und 19 klinische Studien (Anhang RR 7.2; [297–312]).

Periphere i.v. Zugänge gelten immer noch als primärer Gefäßzugang, da sie billig, einfach zu verwenden und effektiv sind und ein geringes Risiko für Komplikationen aufweisen. Einige Autoren schlagen die Verwendung von elektropoptischen Visualisierungshilfen (Venusucheräte) oder Ultraschall zur Erleichterung des Verfahrens vor; die Evidenz ist allerdings begrenzt und beide sind vom Anwender abhängig. Helfer sollen keine Zeit verlieren, um einen peripheren venösen Zugang zu etablieren, wenn eine dringliche Indikation besteht, und sollen sich darüber im Klaren sein, dass mehrere Versuche Stress beim Patienten und Arzt verursachen können. Es gibt keine eindeutige Evidenz für alternative Gefäßzugänge, wenn die peripher-venöse Anlage fehlschlägt. Wenn ein Helfer jedoch die Erfolgchancen des peripher-venösen Zugangs für minimal hält, soll er früher zu Alternativen greifen.

Für Säuglinge und Kinder ist der i.o. Zugang die primäre Alternative. Dieser hat fast die gleiche Funktionalität wie der (zentrale) i.v. Zugang, obwohl einige Zweifel an der Geschwindigkeit der Anflutung bestimmter Medikamente (z. B. Adenosin) und an der Zuverlässigkeit der Blutentnahme bestehen. Im Allgemeinen gelten Blutgruppe, pH-Wert und Natrium als zuverlässig, in geringerem Maß auch Glukose und Bikarbonat. Der i.o. Gefäßzugang kann eine Überbrückung zur i.v. Therapie sein, bis ein peripher-venöser Zugang etabliert werden kann. Der i.o. Zugang ist, vor allem bei der Volumengabe, schmerzhaft, weshalb jedem Kind eine adäquate Analgesie (z. B. Lidocain i.o., intranasales Fentanyl oder Ketamin) verabreicht werden soll, es sei denn, es ist bereits bewusstlos. Verschiedene Systeme sind verfügbar und weisen Unterschiede hinsichtlich der Benutzerfreundlichkeit, Erfolgsrate, Kosten und ihres Risikoprofils auf. Manuelle i.o. Systeme haben vor allem bei sehr kleinen Kindern oder in ressourcenarmen Gebieten ihren Stellenwert. Berichten zufolge kann bei Säuglingen sogar eine 18G-Nadel (und optional ein wiederverwendbarer Nadelhalter) verwendet werden. Semiautomatische, batteriebetriebene i.o. Systeme sind im Allgemeinen schnell und einfach zu bedienen. Sie sind deutlich

teurer als manuelle Systeme und können ebenfalls fehlplatziert werden (zu flach oder zu tief). Die Auswahl der richtigen Nadellänge ist entscheidend. Insgesamt ist die Komplikationsrate für den i.o. Zugang niedrig, aber Helfer sollen auf Paravasate achten, da diese zu einem Kompartmentsyndrom oder einer Infektion führen können. Die korrekte Nadelposition kann klinisch oder möglicherweise durch Farbdopplerultraschall beurteilt werden [313, 314].

Es gibt viele verschiedene Punktionsstellen, von denen jede spezifische Indikationen und/oder Kontraindikationen aufweist und eine bestimmte Technik (und Schulung) erfordert. Wichtig ist, dass die Flussrate in Abhängigkeit der Punktionsstelle unterschiedlich ist, z. B. die Platzierung im Humeruskopf ermöglicht höhere Durchflussraten. Obwohl ein zentralvenöser Zugang einen sicheren und multifunktionalen Zugang bietet, dauert die Platzierung im Allgemeinen länger, birgt das Risiko von Komplikationen, ist stärker vom Anwender abhängig und weniger kosteneffektiv. In Situationen, in denen dies möglich ist, soll der Ultraschall verwendet werden, um die Platzierung eines zentralvenösen Zugangs zu unterstützen, insbesondere für die Vena jugularis interna oder axilläre Zugangswege [315, 316]. Das Freilegen der Vene (Venae sectio) wurde weitgehend aufgegeben.

Therapiebündel bei der Behandlung des pädiatrischen Schocks

Die Anwendung von Therapiebündeln bei der Behandlung des septischen Schocks bei Kindern ist zentraler Bestandteil der ACCCM-Leitlinien von 2014 und wird in den neueren Leitlinien der Surviving Sepsis Campaign (Anhang RR 8.1) erneut empfohlen [24, 29]. Das systematische Screening von akut erkrankten Kindern mithilfe eines Bündels zur Erkennung kann auf die Art der Patienten, Ressourcen und Abläufe in jeder Einrichtung zugeschnitten werden. Klinische Systeme zur Unterstützung einer Entscheidung („decision-support system“) und ein auf elektronischen Patientenakten basierendes Sepsiserken-

nungsinstrument könnten eine besondere Hilfe sein, die unterstützende Evidenz ist allerdings sehr schwach [317, 318]. Der Erfolg mehrerer gleichzeitig angewandeter Interventionen (ein Bündel) ist nicht unbedingt eine Evidenz dafür, dass jede einzelne Intervention für die Wirksamkeit des Bündels erforderlich ist [319]. Einige dieser Interventionen können sogar Schaden anrichten und/oder die Kosten erhöhen.

Während viele verschiedene Beobachtungsstudien einen positiven Einfluss auf das Outcome der Implementierung dieses Therapiebündels zeigten, war dieser Effekt in anderen Studien weitaus geringer [317, 320–328]. Gründe für solche Unterschiede sind nicht immer leicht zu identifizieren, können jedoch mit Selektionsbias, Unterschieden in den Implementierungsstrategien oder Unterschieden in der Handhabung der Kontrollpopulationen zusammenhängen. Wichtig ist, dass die Protokolle auf die lokale Realität zugeschnitten werden.

Zeitpunkt der Antibiotikagabe bei Sepsis

Es wurden 2 Leitlinien [24, 29] und 10 Beobachtungsstudien zu diesem Thema identifiziert (Anhang RR 8.2; [320, 329–337]). Antibiotika sind ein notwendiger Bestandteil der Sepsistherapie und in internationalen Leitlinien wird die frühe Gabe (in der ersten Stunde) von Breitbandantibiotika empirisch empfohlen. Berücksichtigen Sie bei der Auswahl der Antibiotika lokale Resistenzmuster, Vorgeschichte, Komorbidität und den vermuteten Erreger. Sofern eine Meningitis nicht ausgeschlossen wurde, sollen die ausgewählten Antibiotika in der Lage sein, die Blut-Hirn-Schranke zu überwinden. Die Indikationen für eine Lumbalpunktion liegen außerhalb des Rahmens dieses RR, aber im Fall eines septischen Schocks ist es im Allgemeinen ausreichend, Blutkulturen abzunehmen, bevor mit der Antibiotikagabe begonnen wird. Das Outcome könnte schlechter sein, wenn die Antibiotikagabe nach Erkennen der Sepsis um mehr als 3 h verzögert wird.

Vasoaktive/inotrope Medikamente bei kritisch kranken oder verletzten Kindern

Vasoaktive/inotrope Medikamente bei distributivem Schock

Eine Überprüfung des ILCOR-Geltungsbereichs 2020 (PLS 1604) umfasste 2 RCT, fand jedoch keine ausreichende Evidenz, um eine Änderung der Empfehlung herbeizuführen [143, 338, 339]. Beide RCT verglichen Adrenalin und Dopamin bei pädiatrischen septischen Patienten mit Schockgeschehen, welches nicht auf die Flüssigkeitsgabe reagierte. Beide haben verschiedene Einschränkungen, die ihre Verwendung für die Entwicklung klinischer Leitlinien erschweren. Darüber hinaus wurden sie in Ländern mit niedrigem bis mittlerem Einkommen durchgeführt und ihre Anwendbarkeit in Umgebungen mit höheren Ressourcen infrage gestellt. Um eine informierte Entscheidung zu treffen, wurden 2 Leitlinien [24, 29], 2 SR [340, 341] und 5 Beobachtungsstudien berücksichtigt (Anhang RR 8.3A; [342–346]).

Die neuen Leitlinien der Surviving Sepsis Campaign 2020 empfehlen Noradrenalin oder Adrenalin als vasoaktive Medikamente der ersten Wahl gegenüber Dopamin (schwache Empfehlung aufgrund von schwacher Evidenz), konnten jedoch keine ausreichenden Evidenzen finden, um eine Kombination zu empfehlen, was darauf hindeutet, die Wahl auf individuelle Physiologie, Präferenzen der Kliniken und der lokalen Systemfaktoren zu stützen. Sobald eine Echokardiographie oder ein anderes erweitertes Monitoring verfügbar ist, kann die Auswahl der vasoaktiven Therapie von der Pathophysiologie des einzelnen Patienten abhängig gemacht werden.

Es gibt nicht ausreichend Evidenz, um die Kriterien für den Beginn der vasoaktiven Therapie bei Kindern mit septischem Schock zu identifizieren. Mit dem Wissen, dass eine exzessive Flüssigkeitstherapie bei kritisch kranken Kindern zu einer erhöhten Mortalität führen kann, empfehlen wir die frühzeitige Anwendung von vasoaktiven Medikamenten bei Kindern mit Schock, insbesondere wenn nach mehreren Flüssigkeitsboli (z. B. 40 ml/kg) keine deutliche Verbes-

serung des klinischen Zustands erreicht werden kann. In Anbetracht des allgemeinen Sicherheitsprofils empfehlen wir, je nach lokaler Praxis entweder mit Noradrenalin oder Adrenalin zu beginnen und entweder über einen zentralen oder einen peripheren Zugang zu infundieren. Dopamin soll nur in Situationen in Betracht gezogen werden, in denen weder Adrenalin noch Noradrenalin verfügbar sind. Wenn es Anzeichen für eine kardiale Funktionsstörung gibt, kann ein Inodilatator hinzugefügt werden.

Wie bei der Flüssigkeitstherapie sollen vasoaktive Medikamente unter Berücksichtigung mehrerer Faktoren (einschließlich MAD, Laktat, klinischer Symptome) initiiert und titriert werden. Wiederholt und mindestens nach jeder Behandlungsänderung soll eine Reevaluation erfolgen. Vasoaktive Medikamente werden typischerweise als kontinuierliche Infusion verabreicht. Boli von vasoaktiven Medikamenten sollen nur in (Peri-)Arrest-Situationen gegeben werden. Kompetente Ärzte können kleine Boli eines Vasokonstriktors in Betracht ziehen, um akute Hypotonien in bestimmten Situationen zu behandeln (z. B. bei medikamenteninduzierter Hypotonie). Es fehlt weitere Evidenz für diese Praxis (Wahl oder Dosis des Vasokonstriktors).

Vasoaktive/inotrope Medikamente bei kardiogenem Schock

Ein 2020 ILCOR EvUp (PLS 418) fand keine ausreichenden Evidenzen, um eine Änderung der Empfehlung vorzuschlagen [143]. Es wurden zusätzlich 2 Leitlinien berücksichtigt (Anhang RR 8.3B; [29, 39]). Vasoaktive Medikamente sind nur ein Teil der Behandlungsoptionen für den kardiogenen Schock. Die Wahl der Behandlung hängt von der Ätiologie ab und eine frühzeitige Berücksichtigung der mechanischen Kreislaufunterstützung wird empfohlen.

Da derzeit keine direkte Evidenz vorliegt, können wir nicht zur Verwendung eines bestimmten vasoaktiven Medikaments raten. Die Entscheidung, welche vasoaktiven Medikamente als primäre oder sekundäre Therapie verwendet werden sollen, ist komplex und es existieren wahrscheinlich Unterschiede

zwischen den Patientengruppen, sowohl hinsichtlich der Ätiologie als auch der hämodynamischen Reaktionen. Die Behandlungsstrategie soll daher auf das einzelne Kind zugeschnitten und auf bestimmte Ziele abgestimmt sein. Gute Kenntnisse über die Aktivität und Wirkung jedes der vasoaktiven Medikamente in unterschiedlichen Dosierungsstufen sind unerlässlich und sollen die Wahl der Behandlung leiten. Hierzu verweisen wir auch auf die beiden bestehenden pädiatrischen Leitlinien, die Noradrenalin als Inokonstriktor der ersten Wahl und Dobutamin oder Milrinon als Inodilatoren der ersten Wahl befürworten.

Eine kürzlich durchgeführte Vorher-Nachher-Kohortenstudie deutet auf einen stark positiven Einfluss auf das Outcome von Adrenalinboli (1 µg/kgKG) bei pädiatrischen Patienten, die eine Hypotonie entwickeln, auf der Intensivstation hin, obwohl dies Teil einer allgemeinen Initiative zur Qualitätsverbesserung war und die Ergebnisse möglicherweise von anderen Faktoren beeinflusst wurden [347].

Vasoaktive/inotrope Medikamente bei hypovolämischem Schock (8.3C)

Es wurden ein SR [348] und ein narrativer Bericht [349] zu diesem Thema identifiziert (Anhang RR 8.3C). Angesichts des derzeitigen Fehlens direkter pädiatrischer Evidenz basieren die Empfehlungen nur auf indirekter Evidenz aus Erwachsenenpublikation und pathophysiologischen Überlegungen. Während die Anfangsphase des hypovolämischen Schocks am häufigsten durch einen deutlichen Anstieg des systemischen Gefäßwiderstands (SVR) gekennzeichnet ist, kann diese Reaktion verloren gehen, sobald eine Dekompensation auftritt oder Sedativa verabreicht werden. Vasopressoren können dann verwendet werden, um einen angemessenen Perfusionsdruck sicherzustellen. Da sie die Nachlast erhöhen können, ist es ratsam, auch die Herzfunktion bei Therapiebeginn mit diesen Medikamenten zu bewerten. Vasopressoren ermöglichen auch eine verminderte Flüssigkeitsgabe und können möglicherweise Entzündungsreaktionen verringern. Obwohl

bei Kindern mit einem isolierten penetrierenden Trauma ohne SHT eine permissive Hypotonie in Betracht gezogen werden kann, gibt es nicht genügend Evidenz, um dies auch in einer anderen Situation zu empfehlen. Wichtig für das SHT ist ein ausreichend hoher mittlerer arterieller Druck (MAD), um die Minimalwerte des zerebralen Perfusionsdrucks zu erreichen (z. B. MAD > 50 Perzentile).

Tranexamsäure (TxA)

Schwere Blutungen bei Kindern werden am häufigsten durch Trauma und/oder Notoperationen verursacht. Es liegt außerhalb des Rahmens der aktuellen Überprüfung, die Verwendung von Tranexamsäure bei elektiven Operationen oder nicht lebensbedrohlichen Problemen in Betracht zu ziehen. Für das Thema kritische Blutungen wurden eine Leitlinie identifiziert [350], eine RCT [351] und 6 Beobachtungsstudien (Anhang RR 8.3D; [352–356]).

TxA bei traumatischen Blutungen

Evidenz der Erwachsenenmedizin deutet stark darauf hin, dass TxA die Mortalität bei Traumapatienten mit Blutungen senkt, ohne das Risiko von Komplikationen zu erhöhen [357]. TxA soll so früh wie möglich und innerhalb von 3 h nach der Verletzung verabreicht werden, da eine spätere Therapie unwirksam war und schädlich sein kann. Begrenzte Evidenz aus pädiatrischen Studien scheint auf ähnliche Ergebnisse hinzudeuten. Insgesamt scheint TxA kostengünstig und sicher zu sein. Es wird seit Langem bei Kindern angewendet, ohne dass auch bei viel höheren Dosen relevante Nebenwirkungen festgestellt wurden. Es gibt einige Bedenken hinsichtlich beobachteter epileptischer Anfälle nach der Verabreichung, aber dies scheint selten zu sein, wenn eine adäquate Dosierung für das Trauma verwendet wird. Es sind keine spezifischen Studien zur Dosisfindung verfügbar, aber das in der Literatur vorgeschlagene (abgeleitete) Dosierungsschema erscheint sinnvoll.

Für die spezifische Subpopulation von isoliertem SHT sind Daten bei Kindern noch begrenzter. In Anbetracht der

Ergebnisse der CRASH-3-Studie und der obigen Überlegungen sollen Sie jedoch erwägen, Kindern mit isoliertem mittelschwerem SHT (GCS 9–13) ohne Pupillenanomalien TxA zu verabreichen [358]. Die Ergebnisse von CRASH-3 waren für bewussthlose Patienten nicht eindeutig, dies könnte allerdings daran liegen, dass die meisten Patienten nicht mehr zu retten waren. CRASH-3 umfasste nur Erwachsene ohne größere extrakranielle Blutungen. Wenn eine signifikante extrakranielle Blutung nicht ausgeschlossen werden kann, schlägt die Leitliniengruppe PLS vor, wie oben zu handeln und unabhängig davon TxA zu verabreichen.

TxA bei nicht traumatischen Blutungen

Es wurde berichtet, dass i.v. und inhalatives TxA das Outcome bei Kindern mit Lungenblutungen verbessert. Angesichts der Tatsache, dass Schleimhautoberflächen reich an fibrinolytischen Enzymen sind, könnte die Verwendung von TxA zur Blutung in solchen Bereichen genauso wirksam sein wie bei Traumata. Derzeit sind keine pädiatrischen Studien verfügbar, um dies zu belegen. In Anbetracht des Sicherheitsprofils und der potenziellen Wirksamkeit empfehlen wir die Verwendung von TxA bei nichttraumatischen lebensbedrohlichen Blutungen bei Kindern.

Kortikosteroide gegen Schock

Die RR, die die 2020 ILCOR EvUp (PLS 413) beinhalteten, beziehen sich auf 2 Leitlinien [24, 29], einen SR [359], einen RCT [360] und 5 Beobachtungsstudien (Anhang RR 8.4; [361–365]). Alle diese Studien hatten kleine Stichprobengrößen und ein großes Risiko für einen Selektionsbias. Die Studienpopulationen, der Zeitpunkt sowie die Art und Dosierung der Steroide unterschieden sich zwischen den verschiedenen Populationen. Es konnte keine ausreichende Evidenz für eine Änderung der ILCOR-Behandlungsempfehlung von 2010 gefunden werden: „Kortikosteroide in Stressdosis können bei Kindern mit septischem Schock in Betracht gezogen werden, wenn diese nicht auf Flüssigkei-

ten ansprechen und eine (mäßige bis hohe Dosis) vasoaktive Unterstützung benötigen, unabhängig von laborchemischen oder anderen Parametern.“ Hydrokortison in Stressdosis ist immer für bestimmte Risikopopulationen indiziert, wie z. B. Erkrankungen der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse. Vorläufige Untersuchungen legen nahe, dass es andere spezifische Subpopulationen geben könnte, die von der Steroidverabreichung profitieren oder Schaden erfahren würden. Diese Subpopulationen können jedoch noch nicht am Krankenbett identifiziert werden.

Status asthmaticus beim Kind

Asthma verursacht weltweit immer noch eine signifikante Morbidität und auch Mortalität bei Kindern. Eine rechtzeitige aggressive und leitlinienkonforme Behandlung des Status asthmaticus ist erforderlich. Im Folgenden wird nur das Notfallmanagement innerhalb der ersten Stunde behandelt (Anhang RR 9).

Es wurden eine Leitlinie (ginasthma.org), 8 SR [224, 366–372], 3 narrative Reviews [373–375], 9 RCT [213, 226, 376–382] und 5 Beobachtungsstudien identifiziert [383–387], die in den letzten 5 Jahren veröffentlicht wurden. Ältere Publikationen wurden berücksichtigt, wenn die Erkenntnisse als informativ angesehen werden konnten [388–393]. Das Suchupdate von Juni 2020 enthielt zusätzlich eine Leitlinie [394], 3 SR [395–397], eine narrative Übersicht [398], ein RCT [399] und 4 Beobachtungsstudien [400–403]. Es wurden die von der Globalen Initiative für Asthma (ginasthma.org) und den französischen pädiatrischen Notfallgesellschaften veröffentlichten Leitlinien als qualitativ hochwertig eingestuft (AGREE II) und deshalb die Empfehlungen weitgehend darauf basiert [394].

Das Erkennen eines schweren Asthmaanfalls basiert hauptsächlich auf den klinischen Symptomen, einer kurzen Anamnese und der Sauerstoffsättigung. Hypoxämie ist ein Zeichen für ein dekompensiertes, respiratorisches Versagen. Es kann zu Unruhe/Agitation oder verminderter Wahrnehmung von Atemnot führen. Die Differenzialdiagnosen

umfassen Pneumonie, Pneumothorax, kardiales Versagen, laryngeale Obstruktion, Lungenembolie, Fremdkörperaspiration und Anaphylaxie.

Obwohl es sich um eine Erstbehandlung handelt, ist der tatsächliche Nachweis für kurzwirksame Beta-2-Agonisten (SABA) bei schweren Anfällen begrenzt. Hochdosierte inhalative SABA sind relativ sicher, obwohl sie Nebenwirkungen verursachen können (Herz-Kreislauf, Elektrolytstörungen, Hyperlaktämie, Hypotonie). Sie können auch eine vorübergehende Hypoxämie aufgrund eines erhöhten Mismatch zwischen Ventilation und Perfusion auslösen. Kurzwirksame Anticholinergika, insbesondere Ipratropiumbromid, scheinen einen Mehrwert zu haben, obwohl die Evidenz widersprüchlich ist. Systemische Steroide sind innerhalb der ersten Stunde indiziert. Orale Steroide sind genauso wirksam wie i.v. Sie benötigen mindestens 4 h, um eine klinische Verbesserung zu erzielen. Die Evidenz ist zu begrenzt, um ein spezielles Steroid gegenüber einem anderen zu befürworten. Die Datenlage zu hochdosierten inhalativen Steroiden in einem schweren Asthmaanfall sind weniger eindeutig, scheinen aber auch auf einen Nutzen hinzudeuten. Intravenöses Magnesiumsulfat kann, da es über geringe Nebenwirkungen verfügt, für einen schweren Anfall von Mehrwert sein. Bei Kindern kann auch isotones Magnesiumsulfat als venöses Lösung verwendet werden. Es gibt keine Hinweise auf einen zusätzlichen Nutzen von i.v. SABA oder auf ein bestimmtes Dosierungsschema. Intravenöse SABA bergen ein Risiko für Elektrolytstörungen, Hyperlaktämie und vor allem für ein Herz-Kreislauf-Versagen. Für viele andere Therapien (Ketamin i.v., Aminophyllin, Helium, Isofluran, Leukotrienrezeptorantagonisten, ICS-LABA, Makrolide, monoklonale Antikörper) liegen nur begrenzte und widersprüchliche Evidenzen vor. Jede dieser Therapien soll nur von Ärzten angewendet werden, die in der Anwendung erfahren und kompetent sind. Antibiotika werden nicht empfohlen, es sei denn, es liegt eine nachgewiesene bakterielle Infektion vor. NIV oder HFNC können bei Kindern im Status

asthmaticus in Betracht gezogen werden, wenn sie trotz Standardsauerstofftherapie hypoxisch bleiben und/oder nicht auf die initiale Therapie ansprechen. Die verfügbaren Daten zu NIV oder HFNC sind widersprüchlich. Insbesondere bei Kindern mit Asthmaexazerbationen, welche die Kriterien für ein respiratorisches Versagen nicht erfüllen, können diese Therapien mit einer höheren Ressourcennutzung verbunden sein, ohne dass Hinweise auf ein verbessertes Outcome vorliegen. NIV oder HFNC sollen niemals die Entscheidung zur Intubation verzögern, wenn diese indiziert ist. Schwere Erschöpfung, Bewusstseinsverschlechterung, schlechter Lufteintritt, sich verschlechternde Hypoxämie und/oder Hyperkapnie sowie Atem-Kreislauf-Stillstand sind Indikationen für eine Intubation. Die mechanische Beatmung eines Kindes mit Status asthmaticus ist äußerst schwierig. Aufgrund des hohen Atemwegswiderstands besteht das Risiko einer Magenüberblähung, eines Pneumothorax und einer zunehmenden Überblähung mit vermindertem venösem Rückfluss. Dies könnte wiederum zu einer kardiovaskulären Beeinträchtigung führen.

Anaphylaxie

Es wird auf das ERC-Leitlinienkapitel 2020 zu den besonderen Umständen verwiesen [404]. Es wurden 11 Leitlinien [405–415], 4 SR [416–419], 5 narrative Übersichten [420–424] sowie 21 Beobachtungsstudien identifiziert (Anhang RR 10; [425–445]).

Die Anaphylaxie ist lebensbedrohlich und erfordert eine sofortige Behandlung. Die Inzidenz der Anaphylaxie bei Kindern variiert weltweit und liegt zwischen 1 bis 761/100.000 Personen pro Jahr. Ein Drittel hatte schon eine vorangehende Episode. Lebensmittel, gefolgt von Insektengiften und Medikamenten (Antibiotika, NSAID), sind die häufigsten Auslöser bei Kindern (zwei Drittel). Eine Lebensmittelanaphylaxie kann 30–35 min nach dem Kontakt einen Atemstillstand verursachen, Insektenstiche können sehr früh (10–15 min) einen Schock hervorrufen. Eine Anaphylaxie durch Medikamente tritt normalerweise innerhalb we-

niger Minuten auf. Es wurde kein „akuter“ Todesfall mehr als 6 h nach Kontakt mit dem Auslöser berichtet. Biphasische Reaktionen treten in bis zu 15% der Fälle besonders dann auf, wenn mehrere Dosen Adrenalin erforderlich waren und eine Verzögerung von >60 min zwischen Auftreten der Symptome und Verabreichung von Adrenalin bestand. Eine rechtzeitige Diagnose der Anaphylaxie ist von entscheidender Bedeutung und ist maßgeblich für die weitere Behandlung. Hierzu verweisen wir auf die WAO-Diagnosekriterien für 2019 [414]. Für die vorgeschlagene Notfallbehandlung verweisen wir im Wesentlichen auf die bestehenden Leitlinien der relevanten Gesellschaften. Es wurden keine weiteren Evidenzen gefunden, zusätzlich wurden auch Fragen zu Schulung und Implementierung berücksichtigt.

Zusätzlich zur i.m. Adrenalingabe werden verschiedene (unterstützende) Behandlungsoptionen vorgeschlagen (basierend auf begrenzten Daten): inhalative Beta-Agonisten und/oder Adrenalin gegen Bronchospasmus; Glucagon i.v. für Kinder, die Betablocker erhalten; i.v. oder orale H1- und/oder H2-Antihistaminika zur Linderung subjektiver Symptome (insbesondere der Haut). Kortikosteroide können sich positiv auf die späten Atembeschwerden auswirken, ansonsten gibt es keine Hinweise auf Auswirkungen bei biphasischen Reaktionen oder ein besseres Outcome. Kortikosteroide sind nicht nebenwirkungsfrei und sollen daher nur bei Kindern in Betracht gezogen werden, die eine längere Beobachtung benötigen. Spezifische Behandlungen könnten in Bezug auf den identifizierten Auslöser und Kontext in Betracht gezogen werden (z. B. Sugammadex, Methylenblau).

Schwere Vergiftungen

Vergiftungen sind häufige Gründe zum Aufsuchen pädiatrischer Ambulanzen, obwohl die Inzidenz zwischen den Regionen erheblich variiert [446]. Ein Cochrane-Review konnte keine ausreichende Evidenz für oder gegen bestimmte Erste-Hilfe-Behandlungen bei oralen Vergiftungen ermitteln [447]. Bei der Verwendung verschiedener De-

kontaminationstechniken gibt es große geografische Unterschiede [448].

Es ist wichtig, frühzeitig einen Experten zu konsultieren. Weitere Informationen finden Sie im Kapitel über besondere Umstände in den Leitlinien 2020 [404]. Im Anhang wird über einige der wichtigsten pädiatrischen Artikel zu diesem Thema berichtet (Anhang RR 11–RR 33.1).

Obstruktiver Schock (12.1)

Obstruktiver Schock ist ein Thema im Kapitel über besondere Umstände der Leitlinien 2020 [404]. Es wird auch auf RR 34 zum traumatischen Kreislaufstillstand und den RR 33.1 zu „4 H's und HITS“ verwiesen (Anhang RR 12.1). Es gibt keine eindeutige Evidenz für eine Empfehlung zur Dekompression eines Spannungspneumothorax bei kleinen Kindern. Die meisten Daten stammen aus der Erwachsenenliteratur. Insbesondere bei kleinen Kindern ist das Risiko einer iatrogenen Verletzung lebenswichtiger Strukturen durch die Nadeldekompression hoch. Der 4. Intercostalraum (ICR) an der anterioren Axillarlinie (AAL) bietet eine geringere Thoraxwandstärke. Abweichungen vom korrekten Eintrittswinkel bei der Verwendung des 2. ICR gehen mit einem höheren Verletzungsrisiko für intrathorakale Strukturen einher [449–451]. In Übereinstimmung mit den Leitlinien für Erwachsene bevorzugen wir den 4. (oder 5.) ICR, etwas anterior der mittleren Axillarlinie, als primäre Insertionsstelle. Der 2. ICR in der Medio-klavikularlinie bleibt immer noch eine akzeptable Alternative (ATLS-Handbuch 2018). Es gibt keine ausreichende Evidenz für die Bevorzugung der notfallmäßig durchgeführten Anlage einer Thoraxdrainage mittels Thorakostomie gegenüber der Anlage einer Punktionsdrainage mittels Seldinger-Technik (Nadelthorakozentese) als Initialtherapie bei Kindern mit traumatischem Kreislaufstillstand, Spannungspneumothorax und massivem Hämothorax. Die Nadelthorakozentese scheint leichter erlernbar und schneller durchführbar zu sein, ist jedoch möglicherweise weniger effizient [449]. Systeme, die keine sofortige Thorakostomie durchführen, sollen dies jedoch zumindest als Alternative in Be-

tracht ziehen. Wenn sofort verfügbar, soll der Ultraschall zur Bestätigung eines Pneumothorax verwendet werden, um die Brustwanddicke zu messen und den nötigen Abstand zu darunterliegenden lebenswichtigen Strukturen (z. B. dem Herzen) vor der Punktion zu bestätigen und somit die Einführtiefe der Nadel und das Risiko einer Verletzung lebenswichtiger Strukturen zu minimieren.

Lungenembolien sind möglicherweise häufiger als zuvor berichtet Ursachen für einen plötzlichen Atem-Kreislauf-Stillstand bei Jugendlichen [452]. Früherkennung, hochwertige CPR und Behandlung mit thrombolytischer Therapie führten bei Patienten mit Lungenembolie zu einem guten Überleben [453]. Es gibt keine Evidenz für Dosis und Zeitpunkt der thrombolytischen Therapie bei Kindern. Eine kathetergesteuerte Therapie scheint bei ausgedehnter und fulminanter Lungenembolie bei Kindern wirksam und sicher zu sein, wenn sie rechtzeitig eingeleitet wird [454, 455].

Es gibt keine vergleichenden Studien zur Behandlung von Herzbeutelampunaden. Es gibt eine schwache Evidenz dafür, dass sich das Überleben verbesserte, wenn die Herzbeutelampunade früh erkannt und sofort behandelt wurde, was die Bedeutung der Echokardiographie unterstreicht [456]. Perikardiozentese (vorzugsweise ultraschallgesteuert) soll nur in Betracht gezogen werden, wenn eine sofortige Thorakotomie oder (Re-)Sternotomie nicht möglich ist (Expertenkonsens).

Atropin oder Schrittmachertherapie bei instabiler Bradykardie

Es wurden 2 Übersichtsarbeiten [457, 458] und eine Beobachtungsstudie [459] aufgenommen, aber keine neue Evidenz gefunden, die Änderungen der ILCOR-Empfehlungen von 2010 unterstützen (Anhang RR 13.1–13.2). Bei einer Bradykardie infolge eines dekompensierten Atem- oder Kreislaufversagens soll die zugrundeliegende Ursache behandelt werden und nicht die Bradykardie selbst. Atropin bei hypoxischer Bradykardie kann schädlich sein, da der vorübergehende Anstieg der Herzfrequenz den Sauerstoffbedarf erhöhen kann. Darü-

ber hinaus könnte eine Verminderung des Parasympathikonus die Krankheitsbilder verschlechtern, die primär katecholaminvermittelt sind (z. B. Tako-Tsubo-Syndrom). Bei Bradykardien, die durch einen erhöhten Vagotonus verursacht werden, könnte hingegen weiterhin eine Indikation für Atropin bestehen.

In der Vergangenheit wurde eine Mindestdosis von Atropin von 100 µg empfohlen, um eine paradoxe Abnahme der Herzfrequenz zu vermeiden, die bei niedrigeren Dosierungen auftreten soll. Eine kürzlich durchgeführte Beobachtungsstudie bei Säuglingen konnte dies für geringe Dosen von 5 µg/kgKG nicht bestätigen. Innerhalb von 5 min nach dieser niedrigen Dosis wurde ein signifikanter Anstieg der Herzfrequenz beobachtet. Bei der Hälfte aller Kinder entwickelte sich eine Tachykardie, die einige Minuten anhielt. Darüber hinaus wurde in mehreren Publikationen auf die Möglichkeit einer Überdosierung bei Kindern mit einem Gewicht von weniger als 5 kg hingewiesen, wenn eine Mindestdosis von 100 µg verabreicht wurde.

Für die notfallmäßige Schrittmachertherapie konnte die ILCOR-PLS-Taskforce keine Evidenz identifizieren und empfahl daher weiterhin wie im Jahr 2010: *„In ausgewählten Fällen von Bradykardien, die durch einen vollständigen AV-Block oder eine abnormale Funktion des Sinusknotens verursacht werden, kann eine transthorakale Schrittmachertherapie lebensrettend sein. Eine Schrittmachertherapie ist hingegen bei Kindern mit Bradykardien infolge eines hypoxisch-ischämischen Myokardschadens oder einer Ateminsuffizienz nicht hilfreich. Es konnte auch nicht gezeigt werden, dass eine Schrittmachertherapie bei der Behandlung von Asystolien bei Kindern wirksam ist“* [143].

Instabile Tachykardie

Das 2020 ILCOR EvUp (PLS 379 & 409) fand keine ausreichende Evidenz für eine Änderung der Empfehlungen [143]. Die ILCOR-PLS-Taskforce wies ausdrücklich auf die Bedeutung einer Expertenkonsultation vor der Verwendung von Procainamid oder Amiodaron

bei der supraventrikulären Tachykardie (SVT) hin. Ausführliche Informationen zu Subtypen, Diagnose- und Behandlungsoptionen findet man in den ESC-Leitlinien der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie [460, 461]. Die Literaturrecherche ergab 3 zusätzliche Übersichtsarbeiten [462–465], 2 RCT [466, 467] und 9 Beobachtungsstudien (Anhang RR 13.3; [468–476]). Es werden unterschiedliche Behandlungsansätze für Tachykardien bei Kindern, je nach hämodynamischer Stabilität (instabil vs. stabil) bzw. Breite der QRS-Komplexe (schmal vs. breit), vorgeschlagen.

Intravenöses Adenosin ist die Behandlung der ersten Wahl bei einer Schmalkomplextachykardie bei Kindern ohne Kreislaufdekompensation. Empfohlen werden Anfangsdosen von 0,1 mg/kgKG für Kinder und 0,15 mg/kgKG für Säuglinge. Insbesondere bei jüngeren Kindern soll jedoch eine höhere Anfangsdosis (0,2 mg/kgKG) in Betracht gezogen werden [463, 471]. Jüngerer Alter ist mit einer verminderten Reaktion auf die erste Adenosindosis und einer erhöhten Wahrscheinlichkeit einer adenosinrefraktären SVT verbunden [475]. Die Verwendung eines Dreiwegehahns bei kleinen Kindern kann zu einer subtherapeutischen Dosierung führen [477]. Es gibt keine ausreichende Evidenz für oder gegen die Verwendung eines i.o. Zugangs für die Adenosingabe; der i.v. Applikationsweg ist jedoch zu bevorzugen. Bei Kreislaufdekompensation stellt die notfallmäßige elektrische Kardioversion die bevorzugte Option dar. Die Versorgungssysteme sollen über ein Protokoll für dieses Verfahren verfügen, einschließlich der Analgosedierung (z. B. i.v./i.o. oder intranasales [Es-]Ketamin, Midazolam oder Fentanyl) für Kinder, die noch bei Bewusstsein sind.

Alternative Medikamente umfassen Kalziumkanalblocker, Betablocker, Flecainid, Digoxin oder Amiodaron, Dexmedetomidin und Ibutilid. Jedes dieser Medikamente hat spezifische Nebenwirkungen und Kontraindikationen und soll nur von kompetenten Helfern nach fachkundiger Beratung angewendet werden. Verapamil kann bei jüngeren Kindern eine schwere Hypotonie hervorrufen.

Hypokaliämie

Die Hypokaliämie ist Thema im Kapitel „Besondere Umstände“ der Leitlinien von 2021. Es wurden zudem eine Übersichtsarbeit [478], ein RCT [479] und 2 Beobachtungsstudien in den RR aufgenommen (Anhang RR 14.1; [480, 481]). Neue Studien zur Behandlung von Hypokaliämie beim kindlichem Atem-Kreislauf-Stillstand wurden nicht gefunden. Studien zur Behandlung einer Hypokaliämie auf der Intensivstation sind auf Herzpatienten beschränkt und unterscheiden sich signifikant hinsichtlich Interventionsschwelle und Dosierung. Insgesamt scheint enteral appliziertes Kalium gleichermaßen wirksam zu sein. Eine Hyperkaliämie nach enteraler Behandlung wird selten berichtet. Die gleichzeitige Wiederauffüllung der Magnesiumspeicher unterstützt die schnellere Korrektur einer Hypokaliämie und wird bei schwerer Hypokaliämie dringend empfohlen.

Hyperkaliämie

Bezüglich der Hyperkaliämie wird ebenfalls auf das Kapitel „Besondere Umstände“ verwiesen. Es wurden ein systematischer Review [482], eine Übersichtsarbeit [483] und 4 Beobachtungsstudien identifiziert (Anhang RR 14.2; [484–487]). Trotz begrenzter zugrundeliegender Evidenz, insbesondere bei Kindern mit Atem-Kreislauf-Stillstand, ist ein klarer Behandlungsalgorithmus wichtig, um konsistente und wirksame Interventionen sicherzustellen und Dosierungsfehler oder versehentliche Nebenwirkungen zu vermeiden.

Bei Kindern gibt es spezifische Ursachen für Hyperkaliämien. An diese soll frühzeitig gedacht werden, da sie die Behandelnden auf das rasche Erkennen einer Hyperkaliämie aufmerksam machen und den therapeutischen Ansatz weisen können. Die Identifizierung und Behandlung aller Faktoren, die zu einer Hyperkaliämie beitragen, sollen möglichst zeitgleich mit der akuten medikamentösen Behandlung erfolgen. Letztere besteht aus:

1. Membranstabilisierung durch Applikation von Kalzium. Hypertone

Kochsalzlösung kann ebenfalls eine Membranstabilisierung bewirken; es gibt jedoch keine Evidenz bei Kindern und das Potenzial für Nebenwirkungen ist höher. Natriumbikarbonat hat, wenn indiziert, eine ähnliche Wirkung.

2. Kaliumumverteilung: Schnell wirkendes Insulin (Altinsulin) in einer Glukoseinfusion – um eine Hypoglykämie zu vermeiden – ist normalerweise nach 15 min wirksam und hält 4–6 h an. Eine wiederholte Gabe kann erforderlich sein. In der Literatur werden verschiedene Dosierungsschemata beschrieben; es gibt jedoch keine Evidenz zugunsten einer starken Empfehlung für ein spezielles Regime. Die Wirksamkeit inhalativer Beta-Agonisten wurde in Beobachtungsstudien für Erwachsene und Neugeborene, jedoch nicht speziell für Kinder, beschrieben. Die vorgeschlagene Dosis ist deutlich höher (4- bis 8-mal höher) als die für die Bronchodilatation. Die Wirkung von *vernebelten* Beta-Agonisten erreicht erst nach 90 min ihr Maximum. Mit *i.v.* Beta-Agonisten (als einzelner Bolus) wird ein Peak-Effekt signifikant früher (30 min) erreicht, doch die möglichen Nebenwirkungen sind relevant und gefährlich. Wir empfehlen daher diese Anwendung nur bei therapierefraktärer Hyperkaliämie und (unmittelbar bevorstehendem) Atem-Kreislauf-Stillstand. Adrenalin ist ebenfalls ein Beta-Agonist. Schließlich wird, trotz anhaltender Kontroversen, Natriumbikarbonat für die Notfallbehandlung von Kindern mit Hyperkaliämie und metabolischer Azidose ($\text{pH} < 7,2$) und/oder bei Atem-Kreislauf-Stillstand empfohlen. Repetitive Dosen von 1 mmol/kgKG korrigieren den pH-Wert und verschieben gleichzeitig das Kalium nach intrazellulär. Die Wirkung von Natriumbikarbonat ist langsam (Stunden) aber konsistent und das Natrium kann die Zellmembran weiter stabilisieren.
3. Kaliumelimination: Setzen Sie die Kaliumumverteilungsmaßnahmen fort, bis mit der Behandlung zur Kaliumelimination begonnen werden

kann. Die Dialyse ist die effizienteste Behandlungsoption, steht jedoch möglicherweise nicht ohne Weiteres zur Verfügung. Achten Sie auf einen Rebound-Effekt nach der Dialyse. Furosemid erhöht die Kaliumausscheidung im Urin. Es ist vor allem bei gut hydrierten Kindern mit erhaltener Nierenfunktion indiziert. Die Wirkung ist weitaus weniger effektiv, wenn auch eine Nierenfunktionsstörung vorliegt. Kaliumbindemittel wie Natriumpolystyrolsulfonat (Resonium®) wurden bei Kindern nicht prospektiv untersucht. Bei Erwachsenen bestehen Sicherheitsbedenken. Neuere Substanzen könnten sicherer und effizienter sein, wurden aber bei Kindern noch nicht untersucht.

Hypoglykämie

Es wurden eine Leitlinie [488], 2 systematische Reviews [489, 490], eine Übersichtsarbeit [491] sowie 4 Beobachtungsstudien identifiziert (Anhang RR 15; [492–495]). Die ILCOR-Taskforce „Erste-Hilfe“ erstellte speziell eine COSTR zu den Methoden der Glukoseverabreichung bei Hypoglykämie [496].

Die Schwelle, ab der eine Hypoglykämie schädlich wird, ist ungewiss und kann von Alter, Ursache und Erkrankungsbeginn abhängen. In der Literatur wurden Standardgrenzwerte von 50–70 mg/dl (2,8–3,9 mmol/l) definiert. Während ein Blutzucker von 70 mg/dl als Warnzeichen wahrgenommen werden soll (achten Sie auf Symptome und das Risiko eines weiteren Abfalls), stellt ein Wert von 50 mg/dl, insbesondere bei Vorliegen neurologischer Symptome, eine absolute Indikation für eine umgehende Behandlung dar. Bei der Entwicklung lokaler Protokolle sollen die Messeigenschaften der verwendeten Point-of-Care-Messgeräte evaluiert werden.

Unter Berücksichtigung von Pathophysiologie, bestehenden Leitlinien und zusätzlicher, sehr schwacher Evidenz, empfehlen wir bei schwerer Hypoglykämie im Kindesalter einen i.v. Glukosebolus. Während gemäß Protokollen für Erwachsene 50%ige Glukose ver-

wendet wird, empfehlen wir für Kinder im Hinblick auf mögliche Venen- und Gewebsreizungen sowie das Risiko von Dosierungsfehlern weniger hypertone Glukoselösungen. In Situationen, in denen eine i.v. Glukosegabe nicht möglich ist, kann als vorübergehende Alternative Glukagon verabreicht werden – i.m., subkutan oder intranasal. Zudem soll eine Glukoseerhaltungsinfusion begonnen werden, um den Katabolismus zu stoppen und einen ausreichend hohen Blutzuckerspiegel aufrechtzuerhalten.

Eine weniger schwere Hypoglykämie kann mit einer einfachen Glukosegabe behandelt werden – ohne Bolus oder Glukagon. Dies kann entweder mittels einer Glukoseinfusion oder oraler Glukosegabe erfolgen, gefolgt von weiterer Kohlenhydratzufuhr zur Verhinderung eines Wiederauftretens.

Sowohl bei schwerer als auch bei weniger schwerer Hypoglykämie soll nach Möglichkeit die zugrundeliegende Ursache behoben werden. Dies kann das Entfernen des Auslösers oder eine zusätzliche medikamentöse Behandlung (z. B. Kortikosteroide) beinhalten. Eine schwere Hypoglykämie kann direkt oder indirekt zu einem Atem-Kreislauf-Stillstand führen. Einerseits verbessert die Behandlung einer Hypoglykämie nicht unbedingt das Langzeit-Outcome von Kindern mit Atem-Kreislauf-Stillstand. Andererseits führt jedoch die Nichtbehandlung einer schweren Hypoglykämie zu einer Hirnschädigung und verhindert wahrscheinlich einen ROSC. Daher erscheint es logisch, Hypoglykämien in die 4H's der reversiblen Ursachen einzuschließen, aktiv danach zu suchen, insbesondere bei gefährdeten Kindern (metabolisch, septisch, Intoxikation), und sie zu behandeln.

Hyperthermie

Es wurden 2 Leitlinien (MHAUS.org 2019; [497]), 3 Übersichtsarbeiten [498–500] und 2 Beobachtungsstudien identifiziert (Anhang RR 17.1; [501, 502]). Die ILCOR-Taskforce „Erste-Hilfe“ erstellte speziell einen COSTR zu den Erste-Hilfe-Kühltechniken für Hitzschlag und Belastungshyperthermie [496]. Fieber, Hyperthermie, maligne

Hyperthermie, Hitzeerschöpfung und Hitzschlag sind unterschiedliche Entitäten mit spezifischen Definitionen. Fieber ist im Allgemeinen ein nützlicher physiologischer Mechanismus zur Bekämpfung von Infektionen und ist nicht mit langfristigen neurologischen Komplikationen verbunden. Hitzebedingte Erkrankungen und maligne Hyperthermie hingegen erfordern ein spezifisches Management (<https://www.mhaus.org/healthcare-professionals/mhaus-recommendations/>).

Bei schweren hitzebedingten Erkrankungen sind eine schnelle Erkennung, Beurteilung, Kühlung und vorausschauende Planung entscheidend für die Minimierung des Risikos von Morbidität und Mortalität. Die mit verschiedenen hitzebedingten Erkrankungen verbundenen Symptome sind ähnlich. Auch wenn die Diagnose nicht klar ist, sollen Kinder mit erhöhter Körpertemperatur und ZNS-Auffälligkeiten wie Betroffene eines lebensbedrohlichen Hitzschlags behandelt werden.

Status epilepticus

Der folgende Abschnitt behandelt nur das Notfallmanagement in der ersten Stunde und nicht die weitere Behandlung des superrefraktären Status epilepticus (SE) oder Evidenz bei bestimmten Ätiologien (Anhang RR 18). Es wurden 3 Leitlinien [503–505], 13 systematische Reviews [506–518], 6 Übersichtsarbeiten [519–524], 15 RCT [525–541] und 13 klinische Nicht-RCT-Studien aufgenommen [542–555].

Die Inzidenz des pädiatrischen SE liegt bei etwa 20 pro 100.000 Kindern pro Jahr, mit einer Gesamtmortalität von 3%. Die Prognose hängt vom Alter, von der Anfallsdauer und der zugrundeliegenden Ursache ab. Trotz zunehmender Evidenz, dass eine frühzeitige Behandlung eines SE wirksamer und sicherer ist, verzögert sich häufig sowohl die initiale als auch die nachfolgende Behandlung. Eine verzögerte Behandlung führt zu einem verminderten Ansprechen der Therapie, längerer Anfallsdauer, einem höheren Bedarf kontinuierlicher Medikamentengaben, möglichen neurologischen Schäden und erhöhter Krankenhausmortalität.

Die derzeitige Definition eines SE umfasst Anfälle, die nicht innerhalb von 5 min spontan sistieren, da die Wahrscheinlichkeit eines spontanen Sistierens nach diesem Intervall gering ist. Die rechtzeitige, konsequente Behandlung eines SE erfordert die Implementierung klarer Protokolle. Umsetzungsstrategien sollen sich sowohl auf die Schulung aller beteiligten Behandler als auch auf die regelmäßige Überprüfung ihrer Leistung und Protokolleinhaltung fokussieren.

Die Zeitabschnitte im Algorithmus stellen maximale Zeiten vor Initiierung des jeweiligen Behandlungsschritts dar. Abhängig von Ursache und Schweregrad können Kinder diese Phasen jedoch schneller durchlaufen oder sogar die zweite Phase überspringen und schnell zur dritten Phase übergehen. Dies gilt insbesondere für kritisch kranke oder Kinder auf Intensivstationen. Erkennen und behandeln Sie die zugrundeliegenden, auslösenden Ursachen frühzeitig, einschließlich metabolischer Entgleisungen (z. B. Hypoglykämie, Elektrolytstörungen) und anderer Ursachen (z. B. neurologische, kardiologische und toxikologische) sowie systemische Komplikationen, die durch die zugrundeliegende Ätiologie oder Behandlung verursacht werden und zu einer sekundären Hirnschädigung führen können.

Benzodiazepine sind aufgrund ihrer nachgewiesenen Wirksamkeit, Sicherheit und Verträglichkeit die Therapie der ersten Wahl. Welches Benzodiazepin auf welchem Weg verwendet wird, hängt von der Verfügbarkeit, dem Kontext, der lokalen Präferenz und der persönlichen Expertise ab, da es keine eindeutige Evidenz dafür gibt, dass eines dem anderen überlegen ist. Benzodiazepine der ersten Wahl (oder zumindest der ersten Dosis) können auch von entsprechend geschulten Ersthelfern verabreicht werden. Obwohl i.v. Benzodiazepine im Allgemeinen als einfach zu verabreichen und wirksam angesehen werden, können in Fällen, in denen noch kein i.v. Zugang vorhanden ist, andere Applikationswege gewählt werden, um Verzögerungen zu vermeiden. Ein kürzlich durchgeführter RCT legt nahe, dass i.m. Midazolam effizienter ist als bukkales Midazolam [526]. Obwohl i.v. Phenobarbital wirksam und

gut verträglich ist, ist es aufgrund seiner langsameren Applikationsrate eher als alternative Anfangstherapie als Medikament der ersten Wahl anzusehen. Eine angemessene Dosierung des gewählten Benzodiazepins ist im Hinblick auf eine frühzeitige SE-Beendigung unerlässlich.

Der Vorgehensweise in Umgebungen mit limitierten Ressourcen ist ähnlich, unter Berücksichtigung potenzieller Unterschiede bei den zugrundeliegenden Ätiologien und Komorbiditäten. In Situationen ohne Beatmungsmöglichkeit ist die Gabe von mehr als 2 Dosen Benzodiazepin mit einem erhöhten Risiko für eine Ateminsuffizienz mit Todesfolge verbunden.

Der rechtzeitige Übergang von der initialen Notfalltherapie zur erweiterten antiepileptischen Therapie kann zur Verringerung der Behandlungsresistenz eines konvulsiven SE beitragen. Für die Stufe 2 wurden i.v. Phenytoin/Fosphenytoin, Valproinsäure und Levetiracetam vorgeschlagen. Während die meisten Protokolle immer noch Phenytoin als Mittel der Wahl aufführen, bevorzugt neuere Evidenz Levetiracetam im Hinblick auf Kosteneffizienz, Benutzerfreundlichkeit und Sicherheitsprofil. Valproinsäure hat ähnliche Ansprechraten, ist jedoch teratogen und mit einem Risiko für eine akute Enzephalopathie assoziiert, zurückzuführen auf vorstehende Leberanomalien, Hyperammonämie und/oder metabolische Grunderkrankungen. Daher ist insbesondere bei Säuglingen und jüngeren Kindern äußerste Vorsicht geboten. Intravenöses Phenobarbital ist eine angemessene Alternative, wenn keine der drei oben genannten Therapien verfügbar ist. Auch hier ist eine ausreichende Dosierung unerlässlich. In ressourcenlimitierten Umgebungen ohne Verfügbarkeit parenteral applizierbarer, langwirksamer Antiepileptika ist die enterale Gabe über eine Magensonde praktikabel und potenziell wirksam. Orale Levetiracetam-Sirup weist eine hohe Bioverfügbarkeit auf und erreicht innerhalb einer Stunde nach Gabe therapeutische Serumspiegel.

Neuere Arbeiten beschreiben auch die Verwendung von Lacosamid bei der Behandlung des kindlichen SE. Obwohl die Gabe von Lacosamid sicher und wirksam erscheint, ist die gegenwärtige Evidenz

für eine weit verbreitete Anwendung zu begrenzt.

Beim protrahierten SE sollen weitere Medikamente in Betracht gezogen werden (Stufe 3, spätestens nach 40 min). So ist es akzeptabel und potenziell wirksam, eines der noch nicht verabreichten Medikamente der zweiten Stufe zu geben – und zwar unmittelbar nachdem das erste Zweitstufenmedikament verabreicht wurde, da dies die Notwendigkeit einer Analgosedierung mit Intubation und damit assoziierten, potenziellen Komplikationen verhindern kann. Alternativ können, je nach Ätiologie, Vitalfunktionen und Umständen, anästhetische Dosen von Midazolam, Pentobarbital/Thiopental, (Es-)Ketamin oder Propofol erwogen werden – idealerweise mit kontinuierlicher EEG-Überwachung. Die Anwender sollen mit den Eigenschaften dieser Medikamente gut vertraut sein.

Ein nichtkonvulsiver SE kann nach der Beendigung eines konvulsiven SE auftreten, insbesondere wenn die zugrundeliegende Ursache eine akute Infektion des ZNS ist. Die EEG-Überwachung nach Behandlung eines konvulsiven SE ist für das Erkennen persistierender Anfälle von entscheidender Bedeutung. Da potenziell Outcome-relevant, wird ein frühzeitiges Erkennen und Behandeln eines nichtkonvulsiven SE empfohlen.

Erkennen eines Atem-Kreislauf-Stillstands – PBL – Sequenz – Reanimationszyklus – Laien-CPR

Obwohl die ILCOR-Taskforce „BLS“ den Beginn der kardiopulmonalen Reanimation (CPR) mit Thoraxkompressionen (CAB) befürwortete, sah die PLS-Taskforce nach wie vor ein klinisches Gleichgewicht für beide Vorgehensweisen. In einem separaten COSTR hatte die PLS-Taskforce bereits vorgeschlagen, dass „Ersthelfer bei Säuglingen und Kindern unter 18 Jahren mit Atem-Kreislauf-Stillstand außerhalb eines Krankenhauses (OHCA) CPR mit Beatmung durchführen sollen (schwache Empfehlung, sehr schwache Evidenz). Wenn Ersthelfer keine initialen Beatmungen applizieren können (Good Practice Statement), sollen sie zumindest Thoraxkompressionen“ durchführen [4]. Die ILCOR-PLS-Taskforce

empfehl außerdem, dass Leitstellendisponenten CPR-Anweisungen für kindliche Atem-Kreislauf-Stillstände geben sollen, wenn noch keine CPR durch Ersthelfer begonnen wurde (starke Empfehlung, sehr schwache Evidenz; [143]). Die ILCOR-BLS-Taskforce empfahl ferner, dass Laienersthelfer bei Erwachsenen und Kindern mit vermutetem Atem-Kreislauf-Stillstand mit der CPR beginnen sollen, ohne Bedenken hinsichtlich einer potenziellen Schädigung des Patienten, falls sich dieser doch nicht im Atem-Kreislauf-Stillstand befindet (starke Empfehlung, sehr schwache Evidenz; [556]). Ein Cochrane-Review zu kontinuierlichen Thoraxkompressionen bei nichtasphyktischen Kreislaufstillständen außerhalb eines Krankenhauses fand nur eine Studie mit pädiatrischen Daten [557]. Der RR enthielt zusätzlich Simulationsstudien mit Puppen im Sinn einer indirekten Evidenz (Anhang RR 19.1–19.4–19.5; [558–562]). Es wird zudem auf die RR zur Pulskontrolle verwiesen (RR 19.7 und RR 25 CPR für die nicht pulslose Bradykardie).

Die Mehrzahl der Kreislaufstillstände im Kindesalter wird durch Hypoxämie oder Ischämie verursacht und die Sauerstoffreserven sind meist zum Zeitpunkt des manifesten Atem-Kreislauf-Stillstands aufgebraucht. Die Bedeutung der Beatmung in diesem Zusammenhang wurde wiederholt betont [563]. Die PLS-COSTR 2020 empfehlen daher, dass Ersthelfer beim kindlichen Atem-Kreislauf-Stillstand außerhalb eines Krankenhauses (OHCA) eine CPR mit Beatmungen durchführen [143]. Die Taskforce identifizierte 2 zusätzliche Artikel (sehr schwache Evidenz), die keinen Unterschied im Überleben und im neurologischen Outcome bei CPR ohne Beatmungen („compression-only“, CPR) bei Kindern (älter als Säuglinge) fanden, hielt dies jedoch nicht für ausreichend, um ihre Empfehlung zu ändern [564, 565]. In einer multizentrischen Kohortenstudie waren höhere Beatmungsraten während der CPR mit einem verbesserten Outcome verbunden [566].

Bei bewusstlosen Kindern mit Atemwegsobstruktion kann es zu einem Atemstillstand kommen. Die Spontanatmung kann oft durch einfaches Öffnen der

Atemwege und einige Beatmungshübe wiederhergestellt werden. Solche Kinder haben ein sehr gutes Outcome, werden jedoch möglicherweise nicht in Reanimationsregistern erfasst, es sei denn, vor dem Öffnen der Atemwege werden Thoraxkompressionen begonnen.

Bei diesen Empfehlungen wurde auch Folgendes berücksichtigt:

- Mobiltelefone sind allgegenwärtig und die meisten Notrufe erfolgen derzeit darüber. Begrenzte Evidenz deutet darauf hin, dass etwa 60 % der Anrufer ihr Mobiltelefon auf Lautsprecher stellen können.
- Für die CPR bei Erwachsenen empfiehlt die ILCOR-BLS-Taskforce, dass ein alleiniger Ersthelfer mit einem Mobiltelefon zuerst den Notruf wählt, den Lautsprecher oder eine andere Freisprechoption auf dem Mobiltelefon aktiviert und dann sofort mit der CPR beginnt (starke Empfehlung, sehr schwache Evidenz; [556]).
- Das Entfernen von Kleidung schien die Qualität der CPR in 2 Simulationsstudien nicht zu beeinflussen, führte jedoch zu einer Verzögerung von etwa 30 s.
- Das Erkennen von abnormaler Atmung ist bei telefonisch angeleiteter CPR mitunter nicht einfach. Das Hinzufügen spezifischer, beschreibender Schlüsselwörter durch den Leitstellendisponenten könnte dies verbessern. Manche schlagen bei Erwachsenen das Handauflegen auf den Bauch vor [567]. Diese Methoden sind besonders relevant, wenn bei der Annäherung an Mund und Nase des Betroffenen Sicherheitsbedenken bestehen (z. B. Übertragung von Viren). In diesen Fällen soll die Standardmethode „Sehen, Hören, Fühlen“ vermieden werden [7].
- Es gibt keine Evidenz, die die bestehende Empfehlung von 5 Initialbeatmungen unterstützen oder widerlegen kann. Unter Berücksichtigung der Aspekte von Schulung und Implementierung empfehlen wir daher weiterhin dieses Vorgehen.
- Eine ausreichende Beatmung erfordert eine ausreichend lange Inspirationszeit (1 s) und ein ausreichend großes Atemzughvolumen (Thoraxex-

kursion). Dazu muss zwischen dem Mund des Helfers (oder der Maske) und dem Mund (bzw. Mund und Nase) des Kindes eine gute Dichtigkeit bestehen (bei Bedarf Nase oder Lippen schließen, um ein Entweichen der Luft zu vermeiden). Wenn verfügbar, sollen kompetente Helfer eine (Zwei-Helfer-)Beutel-Maske-Beatmung – vorzugsweise mit Sauerstoff – anstelle einer Beatmung mit Expirationsluft durchführen. Wenn bei größeren Kindern keine Beutel-Maske-Beatmung verfügbar ist, können kompetente Helfer auch eine Notfallbeatmungsmaske (z. B. Pocket Mask) zur Beatmung verwenden.

Alle drei Kriterien der Überlebensformel – Forschung, Ausbildung und Implementierung – sind wichtig, und es wird empfohlen, dass nur diejenigen, die speziell für pädiatrische Basismaßnahmen geschult wurden, die pädiatrischen Leitlinien verwenden. Die in den Leitlinien für Kinder von 2015 empfohlene Kompressions-Ventilations-Ratio betrug 15:2. Es gibt keinen Grund, diesen zu ändern. Alle 2 min sollen kurze Pausen für die Rhythmuskontrolle sowie der Wechsel des thoraxkomprimierenden Helfers geplant werden, um Ermüdungseffekte zu minimieren. In Fällen, in denen das Risiko einer frühzeitigeren Ermüdung besteht (z. B. beim Tragen einer vollständigen PSA für COVID-19), kann ein häufigerer Wechsel sinnvoll sein [568].

BLS bei traumatischem Atem-Kreislauf-Stillstand

Die meiste Evidenz zu diesem Thema ist indirekt (Anhang RR 19.6). Wir identifizierten 4 Beobachtungsstudien und beziehen uns auf das Erste-Hilfe-COSTR des ILCOR zu äußeren Blutungen und Bewegungseinschränkungen der Wirbelsäule [496, 569–572]. Ein traumatischer Atem-Kreislauf-Stillstand bei Kindern („traumatic cardiac arrest“, TCA) ist selten und hat ein schlechtes Outcome. Von 21.710 Kindern in der britischen TARN-Datenbank erlitten 0,6 % einen TCA [570]. Insgesamt betrug die 30-Tage-Überlebensrate 5,4 % (95 % KI 2,6–10,8; $n=7$). In einer Kohorte mit

TCA war der initiale Rhythmus in nur 3,5% schockbar [569]. Die meisten TCA waren nicht beobachtet (49,5%), und weniger als 20% der Kinder erhielten Thoraxkompressionen durch Ersthelfer; 19,5% erreichten einen ROSC noch in der Präklinik, 9,8% überlebten die ersten 24h und 5,7% bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus. Im Gegensatz zu Patienten mit stumpfen Traumata oder Strangulationen wurden die meisten mit TCA, die die ersten 24h nach penetrierenden Traumata oder Ertrinken überlebten, lebend entlassen. Wir fanden keine Studien, die eine Korrelation zwischen einer bestimmten Sequenz der BLS-Maßnahmen und dem Outcome bei TCA untersuchen. Telefonunterstutzte CPR schien nicht mit einem anhaltenden ROSC assoziiert zu sein [573]. Bei einem TCA war es weniger wahrscheinlich, dass der Leitstellendisponent den Atem-Kreislauf-Stillstand erkannte oder eine Ersthelfer-CPR ein- oder anleitete. Verbesserte CPR-Protokolle für Leitstellendisponenten bei TCA sollen untersucht und validiert werden.

Insgesamt wurde in 20–35% eines kindlichen TCA eine CPR durch Ersthelfer durchgeführt [571]. Die Interventionen von Ersthelfern waren sehr unterschiedlich und in erster Linie abhängig von situativen Faktoren und der Art des medizinischen Notfalls. In einer Kohorte wiesen überlebende gegenüber Nichtüberlebenden eine 3-fach höhere Rate an Ersthelfer-CPR auf [569]. Dieser uberlebensvorteil bei Ersthelfer-CPR könnte für Traumapatienten in Ländern mit niedrigem und mittlerem Einkommen noch größer sein, da bereits eine Änderung der Lagerung und die Öffnung der Atemwege durch Ersthelfer die Sterblichkeit verringern konnte [574]. Sofern sicher durchführbar, wird für Kinder mit TCA eine Ersthelfer-CPR empfohlen. Ersthelfer sollen Bewegungen der Wirbelsäule so weit wie möglich minimieren, ohne jedoch die Reanimationsmaßnahmen zu behindern.

Es gibt keine Daten zum Einfluss der einzelnen CPR-Komponenten beim kindlichen TCA. Unter 424 Erwachsenen mit TCA gab es zwischen AED- und Nicht-AED-Gruppen keinen signifikanten Unterschied bezüglich eines

nachhaltigen ROSC [575]. Schockbare Rhythmen sind bei TCA im Kindesalter selten. In den Empfehlungen für den TCA bei Erwachsenen hat die Defibrillation ebenfalls an Bedeutung verloren. Daher empfehlen wir keine routinemäßige Verwendung von AED im Rahmen eines kindlichen TCA, es sei denn, es besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen eines zugrundeliegenden schockbaren Rhythmus.

Massive Blutungen sind *eine* der Ursachen für einen TCA. Die initiale Maßnahme bei massiven äußeren Blutungen ist die direkte Kompression – wenn möglich unter Verwendung blutstillender Verbände. Die ILCOR-Taskforce „Erste-Hilfe“ schlug vor, dass Ersthelfer, wenn lebensbedrohliche äußere Blutungen für die Anwendung eines Tourniquets geeignet sind, ein Tourniquet verwenden sollen, anstelle der alleinigen manuellen Kompression [496]. Ein medizinisches Tourniquet ist einem improvisierten Tourniquet vorzuziehen (schwache Empfehlungen, sehr schwache Evidenz).

Pulskontrolle

Hierzu wurden 2 Beobachtungsstudien identifiziert und wir verweisen zudem auf RR 32.3 zur Verwendung von Ultraschall während der CPR [576, 577]. Es gibt keine randomisiert-kontrollierte Studie (RCT), in der die manuelle Pulskontrolle mit der Erkennung von Lebenszeichen verglichen wurde (Anhang RR 19.7). Das Kriterium Lebenszeichen wurde in den Leitlinien implementiert, da beim alleinigen Pulstasten Bedenken hinsichtlich falsch-negativer Befunde bestehen und somit gegebenenfalls keine CPR durchgeführt würde, obwohl diese erforderlich wäre. Der Beginn einer CPR bei Personen, die keine Wiederbelebensmaßnahmen benötigen, ist vergleichsweise unkritisch, zumal CPR-induzierte Verletzungen bei Säuglingen und Kindern selten sind. Zudem deuten einige Daten darauf hin, dass CPR-Maßnahmen bei Kindern mit nicht pulsloser Bradykardie und stark beeinträchtigter Perfusion das Outcome verbessern [578].

Das Erkennen von pulslosen Kreislaufstillständen und eines ROSC beim

pädiatrischen ALS beruht auf der Beurteilung des Kreislaufs, einschließlich der manuellen Pulskontrolle. Obwohl erfahrene, professionelle Helfer zuverlässiger den Puls tasten als unerfahrene Helfer, ist das Risiko von Fehleinschätzungen sowie von längeren CPR-Pausen gleichwohl erheblich. Die Beurteilung des Kreislaufs soll daher während des Kreislaufstillstands auch andere Parameter, wie das etCO₂, den Blutdruck und die SpO₂ oder gegebenenfalls die Sonografie umfassen.

Thoraxkompressionen: Frequenz – Tiefe – Entlastung

Das PLS-COSTR #1605 von 2020 zur Thoraxkompressionstiefe ergab keine ausreichende Evidenz, um bestehende Empfehlungen zu ändern. Zusätzlich zu einer Übersichtsarbeit [579] beziehen wir uns auf 6 RCT [580–585] und 15 Beobachtungsstudien (Anhang RR 21.1; [586–600]).

Es gibt Evidenz, dass die Qualität der Thoraxkompressionen, einschließlich der Hands-off-Zeit, mit dem Outcome korreliert. Idealerweise sollen dabei mehrere Kompressionskriterien (siehe unten) in Kombination berücksichtigt werden. Anstelle den Durchschnitt jedes Kriteriums einzeln zu betrachten, soll der Fokus auf gleichbleibend guten Kompressionen insgesamt liegen, im Sinn eines hohen Prozentsatzes an korrekt durchgeführten Kompressionen:

1. Frequenz: In den Leitlinien von 2015 wurde eine Kompressionsfrequenz von 100 bis 120/min für Säuglinge und Kinder empfohlen. Zu hohe Frequenzen sind bei Kindern keine Seltenheit und können sich negativ auf das Outcome auswirken [601, 602]. Es gibt eine sehr schwache Evidenz dafür, dass etwas langsamere Kompressionsfrequenzen (80–100/min) mit einer höheren Überlebensrate hinsichtlich Krankenhausentlassung und günstigem neurologischem Outcome verbunden sind [587]. Die aktuelle Leitlinie bleibt hier jedoch unverändert.
2. Tiefe: Eine bestimmte Kompressionstiefe ist erforderlich, um einen ausreichend hohen Blutdruck und

eine adäquate Perfusion zu erzeugen. Eine zu tiefe Kompression kann das Outcome allerdings verschlechtern. In den Leitlinien von 2015 wurde empfohlen, *die untere Hälfte des Sternums um mindestens ein Drittel des anterior-posterioren (AP) Thoraxdurchmessers zu komprimieren (Säugling 4 cm, Kind 5 cm)*. Bei älteren, größeren Kindern kann diese Ein-Drittel-Empfehlung jedoch in einer Kompressionstiefe von mehr als 6 cm (obere Erwachsenengrenze) resultieren. Andererseits wird das 2015 definierte Kompressionsziel von 4 bzw. 5 cm Tiefe häufig nicht erreicht, insbesondere, wenn zu große Bedenken hinsichtlich einer zu tiefen Kompression bestehen [594]. Die visuelle Bestimmung der Kompressionstiefe in Zentimeter ist nahezu unmöglich (einschätzbar nur mittels Feedback-Geräten). Wir empfehlen daher weiterhin, die untere Hälfte des Sternums um ein Drittel des AP-Durchmessers des Thorax zu komprimieren. Bei größeren Kindern sollen die Kompressionen nicht tiefer sein als die 6-Zentimeter-Grenze für Erwachsene (etwa eine Daumenlänge eines Erwachsenen). Die Position des Arms im 90-Grad-Winkel zum Thorax und die Verwendung eines Tritthockers sind modifizierbare Faktoren, die eine verbesserte Thoraxkompressionstiefe ermöglichen [603].

3. Unzureichende Entlastung und Abstützen: Beides kann durch Behinderung des Blutrückflusses zum Herzen das Outcome ungünstig beeinflussen. Wenngleich es keine Evidenz für einen Zusammenhang zwischen Frequenz, Tiefe und Entlastung gibt, soll dennoch das Risiko einer unzureichenden Entlastung bei der Durchführung der CPR beachtet werden.
4. Hands-off-Zeit: Indirekte Evidenz aus Erwachsenenendaten legt nahe, dass es wichtig ist, die diese so kurz wie möglich zu halten.

Visuelles Feedback hilft dabei, die Kompressionsfrequenz im Zielbereich zu halten; die jeweils ausgeübte Kraft jedoch

bleibt weitgehend variabel. Feedback-Geräte können die Qualität der CPR positiv beeinflussen, allerdings ist die aktuelle Evidenz immer noch nicht eindeutig. Bis weitere Daten (z. B. aus der multizentrischen PediResQ-Studie) verfügbar sind, bleiben die Empfehlungen am ILCOR BLS-COSTR ausgerichtet. Dieser spricht sich gegen die routinemäßige Implementierung von Echtzeit-CPR-Feedback-Geräten als alleinige Maßnahme zur Verbesserung des Reanimationsoutcomes aus, wenn dies nicht Teil umfassender qualitätsverbessernder Maßnahmen ist (schwache Empfehlung, sehr schwache Evidenz; [556]). Dort, wo derzeit bereits Echtzeit-CPR-Feedback-Geräte verwendet werden, sollen diese Geräte weiterhin verwendet werden, da andererseits keine Evidenz für relevante Schädlichkeit vorliegt (schwache Empfehlung, sehr schwache Evidenz).

Die ILCOR-BLS-Taskforce bewertete auch die Auswirkungen einer festen Unterlage auf die Thoraxkompressionen [556]. Sie gab die folgende Empfehlung ab: *„Wir empfehlen, wenn möglich, die Thoraxkompressionen auf einer festen Unterlage durchzuführen (schwache Empfehlung, sehr schwache Evidenz). Bei einem Atem-Kreislauf-Stillstand im Krankenhaus empfehlen wir, bei einem Bett mit CPR-Modus, durch den die Festigkeit der Matratze erhöht wird, diesen zu aktivieren (schwache Empfehlung, sehr schwache Evidenz). Bei einem Atem-Kreislauf-Stillstand im Krankenhaus empfehlen wir nicht, einen Patienten aus dem Bett auf den Boden umzulagern, um die Tiefe der Thoraxkompressionen zu erhöhen (schwache Empfehlung, sehr schwache Evidenz). Bei einem Atem-Kreislauf-Stillstand im Krankenhaus empfehlen wir zur Verbesserung der Thoraxkompressionstiefe entweder die Verwendung eines Reanimationsbretts (wenn dieses bereits in der Routine implementiert ist) oder eine Strategie ohne Reanimationsbrett (falls dies noch nicht aktuelle Praxis ist) (bedingte Empfehlung, sehr schwache Evidenz).“*

Bezüglich des Einflusses der Unterlage fehlen Studien zu kindlichen Kreislaufstillständen außerhalb des Krankenhauses (OHCA). Anwender sollen eine unzureichende Kompressionstiefe aufgrund weicher Unterlagen vermei-

den und entweder die Unterlage ändern oder die Kompressionskraft anpassen. Im Allgemeinen können Kinder leichter umgelagert werden, um die CPR-Qualität zu verbessern (feste Oberfläche, bessere Zugänglichkeit zum Patienten). Der Nutzen des Umlagerens soll gegen das Risiko von Verletzungen, Verzögerungen, beengten Platzverhältnissen (beim Umlagern auf den Boden) und des Verlusts der Überwachung oder des Gefäßzugangs abgewogen werden.

Thoraxkompressionen: Methode

Es wurden 3 systematische Reviews [604–606], 4 Beobachtungsstudien [607–610] und 24 (randomisierte) Simulationsstudien (Anhang RR 21.2) gefunden [598, 602, 611–630].

Die Methode der Thoraxkompressionen beeinflusst das Erreichen der angestrebten Ziele für Frequenz, Tiefe und Entlastung. Die verfügbare Evidenz für verschiedene Kompressionsmethoden ist sehr begrenzt.

Für Säuglinge wurde in früheren Leitlinien empfohlen, bei Einzel Helfern die Zwei-Finger- und bei 2 Helfern die thoraxumgreifende Zwei-Daumen-Technik zu verwenden. Die Kompression soll über der unteren Hälfte des Sternums erfolgen. Die Zwei-Finger-Technik ist jedoch mit einer suboptimalen Kompressionsqualität und einer frühzeitigen Ermüdung verbunden. Die thoraxumgreifende Zwei-Daumen-Technik hingegen ist effektiver, auch bei einem einzelnen Helfer. Die Hands-off-Zeiten unterscheiden sich kaum von denen bei der Zwei-Finger-Technik, wobei die Gefahr einer unvollständigen Entlastung besteht; dies ist bei Schulungen zu berücksichtigen. Die Zwei-Finger-Technik soll nur für nicht geschulte Helfer in Betracht gezogen werden (unterstützt durch telefonische Anleitung) oder für Helfer, die nur im Erwachsenen-BLS ausgebildet sind. Hier wäre die thoraxumgreifende Zwei-Daumen-Technik möglicherweise ad hoc zu schwierig zu erklären.

In den PLS-Leitlinien von 2015 wurde empfohlen, dass die Daumen bei Verwendung der thoraxumgreifenden Zwei-Daumen-Technik nebeneinander und nicht überlappend platziert sein

sollen. Dies unterschied sich von den Leitlinien für Neugeborene von 2015, in denen empfohlen wurde, einen Daumen über den anderen zu legen. Es wird nun auch für Säuglinge empfohlen, wenn möglich, die letztere Methode zu verwenden, basierend auf einer schwachen Evidenz, dass mithilfe übereinanderliegender Daumen ein höherer Perfusionsdruck erzeugt werden kann, bei gleichzeitig geringerer Leberkompression.

Kürzlich wurden neue Techniken zur Verbesserung der Qualität der CPR untersucht. Keine davon wurde bei Kindern validiert. Vorläufige Ergebnisse aus Simulationsstudien an Puppen legen nahe, dass diese Methoden mindestens so effektiv sind wie die Standardtechniken [631]. Die modifizierte vertikale Zweidaumen-Technik kann besonders für Helfer mit kleineren Händen nützlich sein [632]. Diese neuen Techniken sollen nur dann als Alternativen für in ihrer Anwendung geschulte Helfer erwogen werden, wenn Standardmethoden zu ermüdend oder zu schwierig durchzuführen sind.

Der optimale Kompressionspunkt für Säuglinge wurde in den 2015er-Leitlinien im Bereich der unteren Sternumhälfte festgelegt. Um die Kompression anderer Organe zu vermeiden, wurde empfohlen, eine Fingerbreite über dem Xiphoid zu bleiben. Aktuelle Daten aus CT-Studien legen nahe, dass diese Empfehlung weiterhin Bestand haben soll. In einer Studie wurde der Wert von Positionshilfen im Sinn von Markierungsaufklebern zur Verbesserung der CPR-Qualität hervorgehoben [612].

Für Kinder über ein Jahr können Helfer entweder die ein- oder die zweihändige Kompressionstechnik verwenden. Es gibt nicht genügend Evidenz, um die Empfehlungen von 2015 zu ändern oder eine Technik einer anderen vorzuziehen. Das Erreichen der angestrebten Qualitätsziele bestimmt die dafür anzuwendende Technik. Bei Verwendung der Einhandtechnik kann die andere Hand entweder so positioniert werden, dass durchgehend ein offener Atemweg gewährleistet oder der Kompressionsarm am Ellbogen stabilisiert wird.

Die Leitlinien empfehlen grundsätzlich, die den Thorax komprimierende Person alle 2 min zu wechseln. Unabhängig von der Technik kann es jedoch bereits nach 60 bis 90 s zur Ermüdung mit abnehmender Qualität kommen. Helfer sollen daher auf Ermüdung achten und bei Bedarf die Hände, die Technik oder den Helfer wechseln, um eine optimale Qualität der Thoraxkompressionen aufrechtzuerhalten.

Verwendung eines automatisierten externen Defibrillators (AED) als Teil von PBL

Es wurden eine Leitlinie [633], ein systematischer Review [634], eine Übersichtsarbeit [635] und 11 Beobachtungsstudien identifiziert (Anhang RR 22; [14, 636–645]).

Die frühzeitige Defibrillation bei Patienten im Atem-Kreislauf-Stillstand mit schockbarem Rhythmus geht mit einer hohen Wahrscheinlichkeit für einen ROSC und einem guten neurologischen Outcome gleichermaßen bei Kindern und Erwachsenen einher. Bei Kindern mit einem initial nicht schockbaren Rhythmus kann die Verwendung eines AED jedoch die No-flow-Zeit verlängern und die Aufmerksamkeit von anderen Interventionen ablenken, die das Outcome positiv beeinflussen würden.

Im Rahmen der Basismaßnahmen ist es unmöglich, vor dem Anbringen eines AED oder eines anderen EKG-Monitors den zugrundeliegenden Rhythmus zu bestimmen. Daher müssen sich die Helfer bei der Entscheidung zur Verwendung eines AED auf kontextbezogene Überlegungen stützen. Alternativ kann bei allen Kindern ein AED angebracht werden. Die Wahrscheinlichkeit eines schockbaren Rhythmus ist bei älteren Kindern, Kindern mit bestimmten Vorerkrankungen oder einem plötzlichen, beobachteten Kollaps viel höher. Schockbare Rhythmen können aber auch in anderen Fällen auftreten, selbst bei sehr jungen Kindern. Schließlich entwickelt ein kleiner Teil der Kinder mit einem anfänglich nicht schockbaren Rhythmus im Verlauf der CPR einen schockbaren Rhythmus (0,5–2%). Es gibt nicht genügend Evi-

denz, um bestehende Empfehlungen zu ändern. Für die Behandlung von Kammerflimmern (VF)/pulsloser Kammertachykardie (VT) bei Kindern unter 8 Jahren außerhalb des Krankenhauses wird für den Modus der Defibrillation folgende Präferenz empfohlen: 1) manueller Defibrillator, 2) AED mit Dosisreduktion oder 3) AED ohne Dosisreduktion. Falls sich die Bereitstellung des bevorzugten Geräts verzögert, soll das (unmittelbar) verfügbare Gerät verwendet werden. Die Mehrheit der vorhandenen AED liefert eine Standarddosis von 120 bis 200 J (biphasisch). Mit einem AED mit pädiatrischer Dosisreduktion beträgt die Dosis in der Regel 50 J. Der implementierte EKG-Algorithmus eines AED für kleine Kinder soll eine hohe Spezifität und Sensitivität für das Erkennen schockbarer Rhythmen bei Säuglingen aufweisen.

Während weiterhin die besondere Bedeutung von (initialen) Beatmungen und hochwertigen Thoraxkompressionen betont wird, empfehlen wir nunmehr die Verwendung von AED nach Möglichkeit bei allen Kindern, d. h. wenn mehr als ein Helfer anwesend und ein AED zugänglich ist. Ist nur ein Helfer anwesend, soll die CPR nicht unterbrochen werden, um einen AED zu beschaffen, es sei denn, es besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit für einen primär schockbaren Rhythmus (z. B. bei einem plötzlichen, beobachteten Kollaps) und einem AED in unmittelbarer Nähe.

Diese Empfehlungen gelten für geschulte Anwender. Die CPR durch ungeschulte Helfer wird nach Möglichkeit von Leitstellendisponenten telefonisch angeleitet. Die Gefahr einer verlängerten No-flow-Zeit und einer suboptimalen CPR-Qualität ist höher, wenn nichtgeschulte Helfer einen AED verwenden, auch bei telefonischer Unterstützung durch einen Leitstellendisponenten. Obwohl es keine spezifischen Daten gibt, die dies untermauern, empfehlen wir, dass ein AED als Teil einer telefonisch unterstützten CPR nur in den Fällen eingesetzt werden soll, in denen die Wahrscheinlichkeit eines primär schockbaren Rhythmus sehr hoch ist (wie bei einem plötzlichen, beobachteten Kollaps oder beim Vorliegen bestimmter kardialer Vorboten) und

wenn ein AED in der Nähe und zugänglich ist.

Stabile Seitenlage

Bei diesen Empfehlungen wurden der ILCOR-Erste-Hilfe-COSTR zu diesem Thema [496] sowie eine Leitlinie [646], 3 systematische Reviews [647–649], 2 RCT [650, 651] und 5 Beobachtungsstudien berücksichtigt (Anhang RR 23; [652–656]). Die stabile Seitenlage wurde empfohlen für bewusste Nichttraumapatienten ohne Notwendigkeit einer Atemwegssicherung und ohne Atem-Kreislauf-Stillstand. Bei korrekter Durchführung verbessert sie im Vergleich zur Rückenlage das Offenhalten der Atemwege und verringert das Aspirationsrisiko. In einer Kohortenstudie war die stabile Seitenlage mit einer signifikanten Reduktion der Krankenhausaufnahmerate verbunden [655]. Bei einem Atem-Kreislauf-Stillstand verlieren Kinder fast immer sofort das Bewusstsein, können jedoch bis zu 2 min nach dem Stillstand noch Atembewegungen ausführen. Die stabile Seitenlage kann das frühzeitige Erkennen einer abnormalen Atmung erschweren. Um dies zu verhindern, sollen die Helfer geschult werden, wiederholt die Atmung zu beurteilen. Durch die Änderung der Empfehlung, den Betroffenen nicht mehr regelmäßig, sondern jede Minute zu reevaluieren, wurde die Wahrscheinlichkeit, einen Atem-Kreislauf-Stillstand zu entdecken, erheblich erhöht [651]. Bei ungeschulten Ersthelfern sollen Leitstellendisponenten daher bis zum Eintreffen des Rettungsdiensts mit den Helfern in Kontakt bleiben.

Die Evidenz ist insgesamt sehr begrenzt, und es bleibt unklar, ob diese Empfehlung für alle Situationen und für alle Arten von Helfern gilt. Bei Schwangeren und bei Kindern mit Intoxikation ist eine Linksseitenlagerung vorzuziehen [647]. In Situationen, in denen ein hohes Risiko für einen hypoxischen Atemstillstand oder einen bevorstehenden Atem-Kreislauf-Stillstand besteht, ist es eher ratsam, den Patienten in Rückenlage zu belassen, die Überstreckung des Kopfes und das Anheben des Kinns fortzusetzen oder den Esmarch-Handgriff anzuwen-

den. Für den speziellen Fall bewusstloser Traumapatienten muss zudem das Risiko einer Atemwegsobstruktion gegen das einer sekundären Wirbelsäulenverletzung abgewogen werden. Die Evidenz für eine mögliche Schädigung bei lateraler Rotation nach Trauma ist nicht eindeutig. Für die obligatorische Inline-Stabilisierung der Wirbelsäule müssen mehrere Helfer das Kind in die stabile Seitenlage bringen.

Atemwegsverlegung durch Fremdkörper (FBAO)

Atemwegsverlegungen durch Fremdkörper verursachen jährlich Tausende von Todesfällen, insbesondere in gefährdeten Bevölkerungsgruppen, die Schwierigkeiten haben, ihre Atemwege selbstständig zu schützen, wie z. B. Kinder [657]. Schnelle Eingriffe von ungeschulten Ersthelfern vor Ort können das Überleben erheblich verbessern. Altersspezifische Manöver für die Fremdkörperaspiration sind seit mehr als 25 Jahren Teil der Reanimationsleitlinien. Obwohl die Fremdkörperaspiration ein wichtiges gesundheitliches Problem darstellt und viele Einzelberichte über eine erfolgreiche Öffnung der Atemwege vorliegen, ist die Evidenz für diese Leitlinien widersprüchlich und sehr schwach (Anhang RR 24; [658–662]). Ein diesem Thema gewidmeter 2020 COSTR BLS368 lieferte Behandlungsempfehlungen [556].

Es wird empfohlen, keine erhältlichen sog. Antierstickungsgeräte („anti-choking devices“) in der Ersten Hilfe eines zu ersticken drohenden Kindes zu verwenden. Die sofortige Verwendung eines solchen Geräts kann umstehende Personen davon abhalten, die empfohlenen Schritte des aktuellen Algorithmus rechtzeitig auszuführen. In Ermangelung des Sicherheitsnachweises solcher Geräte können bestimmte Risiken für Kinder nicht ausgeschlossen werden. Solche Geräte können die Fähigkeit zum Husten bei wachen Kindern beeinträchtigen und die oberen Atemwegsstrukturen schädigen oder die Aspiration von Mageninhalt fördern. Mit der weit verbreiteten Implementierung solcher Geräte wären auch erhebliche Kosten verbunden. Derzeit existiert hierfür kei-

ne Evidenz. Weitere Untersuchungen sind hier notwendig, insbesondere bei Betroffenen, die nicht mehr effizient husten können oder bewusstlos sind [663]. In Situationen, in denen herkömmliche Manöver fehlgeschlagen sind, kann ein Anti-Erstickungsgerät eine Ergänzung zur Standardbehandlung sein. Derzeit soll dies jedoch nur bei einer Evaluation im Rahmen von Studien erfolgen.

Thoraxkompressionen bei Kindern ohne Atem-Kreislauf-Stillstand

Trotz fehlender Evidenz wurde in vorangehenden Leitlinien empfohlen, Bradykardien mit Anzeichen einer schlechten Perfusion, selbst bei fühlbarem Puls, durch sofortige Reanimationsmaßnahmen zu behandeln (Anhang RR 25; [664–666]). In einer Studie wurden Kompressionen im Frühstadium einer nicht pulslosen Bradykardie bei 18% der Kinder, welche Wiederbelebungsmaßnahmen erhielten, begonnen, bevor das Kind pulslos wurde, während dies nur auf 2% der Erwachsenen zutraf, die eine CPR erhielten [667]. Das Überleben bis zur Entlassung nach pulslosen, nicht schockbaren Ereignissen war bei Kindern (24%) besser als bei Erwachsenen (11%), was möglicherweise auf eine frühe aggressive Behandlung bei bradykarden Kindern mit schlechter Durchblutung zurückzuführen ist.

Das Outcome eines hypoxischen Atem-Kreislauf-Stillstands ist deutlich schlechter als das eines primären Atem-Kreislauf-Stillstands mit kardialer Ursache. Es ist wahrscheinlich, dass Kinder mit einem hypoxischen Atem-Kreislauf-Stillstand zum Zeitpunkt des Stillstands bereits schwere hypoxische Hirnschäden erlitten haben. Bei Organspendern nach Atem-Kreislauf-Stillstand sind nach Beenden der lebenserhaltenden Maßnahmen die ersten beobachteten physiologischen Schritte ein Sättigungsabfall und eine Hypoperfusion [668]. Diese Phase vor der terminalen Bradykardie kann zwischen einigen Minuten und 3 h dauern. Nach dem Einsetzen der Bradykardie tritt der somatische Tod normalerweise innerhalb weniger Minuten ein.

Mehrere kürzlich durchgeführte Studien zeigten, dass Kinder, die wegen Bra-

dykardien mit Puls und schlechter Perfusion Reanimationsmaßnahmen erhielten, ein besseres Outcome erzielten als Kinder, die eine sofortige Asystolie oder PEA erlitten [578, 669, 670]. Insgesamt war das Outcome in der Kohorte der Kinder am besten, die bradykard wurden, Reanimationsmaßnahmen erhielten, aber nie pulslos wurden. Je länger die Zeit zwischen dem Beginn der Reanimationsmaßnahmen bei Bradykardien mit Puls und schlechter Perfusion und dem tatsächlichen Pulsverlust war, desto geringer war die Überlebenschance.

Wir sehen somit einen größeren Benefit darin, frühzeitig Reanimationsmaßnahmen durchzuführen, um ein besseres Outcome zu erzielen als durch das niedrige Risiko eines potenziellen Schadens, das durch versehentlich durchgeführte Reanimationsmaßnahmen dem Patienten entsteht. Es ist oft unmöglich, den genauen Zeitpunkt des Pulsverlusts zu identifizieren. Das Warten auf Pulslosigkeit (oder den Verlust der SpO₂-Messung, Blutdruckwerten usw.) führt nur zu einer Verzögerung.

Derzeit gibt es keine Studien zum Outcome von Thoraxkompressionen auf das Überleben bei Kindern mit Schockzuständen und sehr geringen Auswurfraten ohne Bradykardie (z. B. supraventrikuläre Tachykardie).

Pads oder Paddels zur Defibrillation

Das ILCOR COSTR EvUp (PLS 378-426) identifizierte keine ausreichende Evidenz, um die aktuellen Leitlinien zu ändern (Anhang RR 26.1; [143, 671–674]). In den Situationen, in denen keine selbstklebenden Pads verfügbar sind, sind Paddels eine akzeptable Alternative. Paddels können auch für die erste Defibrillation verwendet werden, wenn das Aufbringen von selbstklebenden Pads zu lange dauert. Wie im Jahr 2015 können Defibrillationspaddels verwendet werden, um einen Rhythmus zu bestimmen, wenn Monitorkabel oder selbstklebende Pads nicht sofort verfügbar sind.

Es konnten keine sehr hohen Evidenzen identifiziert werden, die entweder die anterioposteriore (AP) oder die anterolaterale (AL) Position begünstigen.

Die letzte Leitlinie schlug vor: „Wenn die Paddels zu groß sind und die Gefahr eines Kurzschlusses über die Paddels besteht, soll eines auf dem oberen Rücken unterhalb des linken Schulterblatts und das andere vorne links neben dem Sternum platziert werden“ [666]. Andere Quellen schlagen jedoch eine etwas andere Position vor, basierend auf Anatomie und Pathophysiologie. In Anbetracht dessen und im Hinblick auf Konsistenz, empfehlen wir die AP-Position, das vordere Pad in der Mitte der Brust unmittelbar links neben dem Brustbein und das hintere Pad in der Mitte des Rückens zwischen den Schulterblättern zu platzieren. Sehr geringe Evidenzsicherheit deutet darauf hin, dass die AP-Position mindestens so effektiv sein könnte wie die AL-Position. Die AP-Position ist mit Paddels schwer durchzuführen. Bei refraktären VF/pVT und einer anfänglichen AL-Position selbstklebender Pads sollen Sie erwägen, diese in eine AP-Position zu ändern.

Multiple Schockabgaben

Die Leitliniengruppe PLS identifizierte keine neue Evidenz, um die bestehenden Empfehlungen zu ändern, die eine Einzelschockstrategie mit sofortigen Reanimationsmaßnahmen befürworten (Anhang RR 26.2). In einer Situation mit angeschlossenem Monitoring und einem sofort einsatzbereiten Defibrillator ist jedoch eine sofortige Defibrillation – vor Beginn der Reanimationsmaßnahmen – nach dem Auftreten von VF/pVT möglich und möglicherweise vorteilhaft. Es wird angenommen, dass das Herz in dieser Phase leichter defibrillierbar ist [675]. Wenn ein sofortiger Defibrillationsversuch nicht erfolgreich ist, kann das Outcome möglicherweise mit einem zweiten und bei Bedarf mit einem dritten Versuch verbessert werden, bevor mit der CPR begonnen wird. In Anbetracht dessen und der relativ begrenzten Zeitverzögerung eines Vorgehens mit 3 initialen Schocks empfehlen wir, bei beobachtetem VF/pVT – trotz sehr begrenzter Evidenz – die Verwendung eines Ansatzes mit multiplen Schocks für diejenigen Kinder, die überwacht werden und bei denen ein Defibrillator sofort einsatzbe-

reit ist [676, 677]. Dieser Ansatz der multiplen Schocks wurde auch während des ALS für Patienten mit COVID 19 empfohlen, bei denen die Helfer noch keine angemessene persönliche Schutzausrüstung tragen [7]. Bei einem Vorgehen mit multiplen Schocks wird i.v. Amiodaron unmittelbar nach den 3 anfänglichen Schocks verabreicht, während Adrenalin erst nach 4 min verabreicht wird.

Energiedosis und Zeitpunkt der Defibrillation

Schockbare Rhythmen sind bei Kindern nicht ungewöhnlich (4–10%) und ihre Prognose ist besser als bei anderen Rhythmen (Anhang RR 26.3; [678]). Der einflussreichste Faktor des Überlebens bei Atem-Kreislauf-Stillstand einer VF/pVT ist die Zeit bis zur Defibrillation. Sekundäres VF ist zu einem bestimmten Zeitpunkt bei bis zu 27% der Reanimationsereignisse im Krankenhaus vorhanden und hat eine viel schlechtere Prognose als primäres VF.

Energiedosis: Es gibt inkonsistente Daten zur optimalen Energiedosis für schockbare Rhythmen bei Kindern. Die Überprüfung des ILCOR PLS 405-Scoping Review ergab keine ausreichende neue Evidenz, um die Empfehlungen zu ändern [143]. In der SR von Mercier et al. wurde ein ROSC häufig (≥85%) mit einer Energiedosis im Bereich zwischen 2 und 7J/kgKG erreicht [679]. Die ideale Energiedosis für eine sichere und effektive Defibrillation ist weiterhin unbekannt. Die Defibrillationsschwelle bei Kindern variiert je nach Körpergewicht und scheint bei Säuglingen höher zu sein. Eine vor Kurzem publizierte Registerstudie schlug einen besseren Erfolg für erste Energiedosen mit etwa 2J/kgKG bei pädiatrischem Atem-Kreislauf-Stillstand im Krankenhaus (IHCA) mit primär schockbaren Rhythmen vor [680]. Diese Studie berichtete jedoch nicht über viele wichtige Kovariablen, die das Outcome beeinflussen könnten, wie Gründe für Protokollverletzungen, CPR-Qualität, Dauer, No-flow-Zeit und Anzahl der Schocks. Die Studie war für starke Schlussfolgerungen auch zu klein.

Durch Verwendung von Energiedosen über 4J/kgKG wurden Kinder ef-

ektiv mit vernachlässigbaren Nebenwirkungen defibrilliert [679]. Studien am Tiermodell deuten auf eine Myokardschädigung und eine anschließend verminderte Myokardfunktion bei Dosen über 10 J/kgKG hin. Daten und Leitlinien für Erwachsene schlagen eine erste Energiedosis von 120–200 J (abhängig von der Art der Wellenform) mit eskalierenden Dosen für refraktäres oder wiederkehrendes VF vor. Leitlinien für Erwachsene empfehlen außerdem, unabhängig von der Amplitude, einen Defibrillationsversuch bei einem VF durchzuführen, selbst wenn dies als „fein“ (im Sinn einer kleinen Amplitude) oder als „nahe an der Asystolie“ beurteilt wird [677].

In Anbetracht des Mangels an Evidenz und unter Berücksichtigung von Fragen der Umsetzung und Aufklärung empfehlen wir weiterhin 4 J/kgKG als Standardenergiedosis. Es erscheint vernünftig, keine Energiedosen zu verwenden, die über den für Erwachsene empfohlenen liegen, und schrittweise eskalierende Energiedosen für refraktäres VF/pVT in Betracht zu ziehen (d. h. die nicht auf anfängliche Defibrillationen und Antiarrhythmika ansprechen; [681]). Eine niedrigere Energiedosis für den ersten Schock (2 J/kgKG) könnte eine vernünftige Alternative für primär schockbare Rhythmen sein. Wenn kein manueller Defibrillator verfügbar ist, verwenden Sie einen AED, der schockbare Rhythmen bei Kindern erkennen kann (siehe RR 22).

Zeitpunkt der Aufladung und Rhythmusüberprüfung: Bei Erwachsenen ist unklar, ob eine sofortige Defibrillation einer kurzen Zeit der Herz-Lungen-Wiederbelebung vor der Defibrillation überlegen ist [682]. Die ILCOR-BLS-Taskforce schlägt eine kurze CPR-Phase vor, bis der Defibrillator für die Analyse und/oder Defibrillation bei nicht beobachtetem Atem-Kreislauf-Stillstand bereit ist (schwache Empfehlung, sehr schwache Evidenz; [556]). Sie schlagen auch eine sofortige Wiederaufnahme der Thoraxkompressionen nach der Schockabgabe vor (schwache Empfehlung, sehr schwache Evidenz). Wenn es alternative physiologische Hinweise auf einen ROSC gibt, können die Thoraxkompressionen für die Rhythmusanalyse kurz unterbrochen werden.

Das Intervall zwischen den Defibrillationsversuchen wird wie in den Leitlinien von 2015 auf 2 min festgelegt [666]. Dies basiert auf Expertenmeinungen. Es gibt Studien, die ein verbessertes Outcome bei einem frühzeitigeren zweiten Defibrillationsversuch zeigen. Dies stellt jedoch keine ausreichende Evidenz dar, um die aktuellen Leitlinien zu ändern, insbesondere wenn die Auswirkungen auf Schulung und Implementierung berücksichtigt werden [683, 684].

Hypothermer Atem-Kreislauf-Stillstand

Die standardmäßigen pädiatrischen ALS-Maßnahmen sollen dem hypothermen Zustand des Patienten angepasst werden. Einzelheiten finden Sie im Kapitel über besondere Umstände in diesen Leitlinien [404]. Es wurden der BLS 2020 COSTR beim Ertrinken [556] sowie eine Leitlinie [685], 4 SR [686–689], 2 narrative Übersichten [690, 691] und 2 Beobachtungsstudien berücksichtigt (Anhang RR 27; [692, 693]). Es ist schwierig, das Überlebenspotenzial mit einem guten neurologischen Outcome bei Kindern nach einem hypothermen Atem-Kreislauf-Stillstand abzuschätzen. Kein einzelner Parameter verfügt über eine ausreichende Aussagekraft. Das Sprichwort „Kein Kind kann für tot erklärt werden, wenn es nicht warm ist“ gilt nicht unbedingt für Kinder mit längeren Submersions-/Verschüttungszeiten, einer tödlichen Verletzung, einem vollständig gefrorenen Körper oder einem nicht beherrschbaren Atemweg. Kein Umstand allein war jedoch zu 100 % prädiktiv und speziell bei Kindern waren längere Submersionszeiten in eiskaltem Wasser mit Überleben assoziiert. Wichtig ist, dass die präsentierte Evidenz eine weitaus schlechtere Prognose für Kinder mit vorangegangener oder assoziierter Asphyxie nahe legt. Obwohl dies in der präklinischen Situation nicht immer leicht zu identifizieren ist, sollen der Mechanismus und die Begleitumstände sowie die erste gemessene Körperkern-temperatur (bei <24 °C handelt es sich wahrscheinlicher um eine primäre Hypothermie) sorgfältig in die Überlegungen mit einfließen. Darüber hinaus soll

das Team auch die potenziellen Risiken für die Helfer, den erwarteten Einsatz von Ressourcen und das Potenzial für Schäden des Patienten berücksichtigen [694].

Jedes Kind mit schwerer Unterkühlung, von dem angenommen wird, dass es eine Chance auf ein günstiges Outcome hat (ob im Atem-Kreislauf-Stillstand oder nicht), soll idealerweise so schnell wie möglich in ein Zentrum mit ECLS- oder kardiopulmonaler Bypassanlagemöglichkeit und Kapazitäten für Kinder transportiert werden. Bei hypothermen Kindern scheint die mediane Notfallsternotomie die bevorzugte Technik für den Gefäßzugang zu sein. Wenn nicht zugänglich, könnte eine kontinuierliche venovenöse Hämofiltration oder Peritonealspülung eine Alternative darstellen, scheint jedoch mit weitaus ungünstigeren Outcomes verbunden zu sein.

FiO₂ während der CPR

Die ILCOR 2020 COSTR PLS 396 identifizierte keine ausreichende Evidenz, um ihre Empfehlung von 2005 zur Verwendung von 100 % FiO₂ zu ändern [143]. Obwohl es zunehmend Hinweise auf eine nachteilige Auswirkung der Hyperoxie auf das Überleben bei kritisch kranken Erwachsenen gibt, einschließlich derjenigen, die nach CPR mit ROSC aufgenommen wurden, fehlen eindeutige Evidenzen, die die Auswirkung der Sauerstofftitration während der CPR in Patienten jeden Alters zeigen (Anhang RR 28). Hyperoxie während der Reanimation ist nicht eindeutig mit einer erhöhten Mortalität verbunden [695].

Atemwegsmanagement während des ALS

In Anbetracht des veröffentlichten COSTR 2019 und zweier weiterer kürzlich durchgeführter Beobachtungsstudien [696–698] wird die Standardanwendung der Beutel-Maske-Beatmung für Kreislaufstillstände außerhalb des Krankenhauses (OHCA) empfohlen (Anhang RR 29.1). Eine Intubation oder SGA-Platzierung kann durchgeführt werden, sobald ein ROSC eingetreten ist. Helfer, die im pädiatrischen Atemwegsma-

nagement kompetent sind, können die Atemwegssicherung in Fällen in Betracht ziehen, in denen eine CPR während des Transports oder eine längeren Wiederbelebungsdauer zu erwarten ist. Trotz fehlender Evidenzen empfehlen wir aus Gründen der Konsistenz ein ähnliches Vorgehen für den Atem-Kreislauf-Stillstand im Krankenhaus (IHCA). Wenn jedoch ein qualifizierter Anwender an einer Reanimation im Krankenhaus (IHCA) teilnimmt, kann eine frühzeitige Atemwegssicherung in Betracht gezogen werden.

Beatmungsstrategien während des ALS

Zusätzlich zum zugehörigen ILCOR 2020 EvUp [143] wurden 4 Beobachtungsstudien und mehrere Beiträge mit indirekten Nachweisen einbezogen (Anhang RR 29.3; [587, 698–700]).

Insgesamt ist die Evidenz für subphysiologische Beatmungsfrequenzen schwach. In früheren Publikationen wurde der potenzielle Schaden hervorgehoben, der durch Hyperventilation während der Herz-Lungen-Wiederbelebung bei Erwachsenen verursacht wird [701, 702]. Die zur Definition der Hyperventilation in der Erwachsenenforschung und Erwachsenenleitlinien verwendeten Frequenzen gelten jedoch möglicherweise nicht für Kinder.

Die Bedeutung der Beatmung als Teil des Wiederbelebungsalgorithmus bei Kindern wird in RR 19.4 und RR 20 erörtert. Darüber hinaus legt eine Beobachtungsstudie – mit nur 47 Probanden – nahe, dass niedrige Beatmungsfrequenzen mit einem ungünstigeren Outcome verbunden sein können, insbesondere bei Kindern mit Bradykardie und schlechter Durchblutung [566]. Eine Studie am Tiermodell ergab keine Unterschiede in den ROSC-Raten bei Beatmungsraten von 10, 20 und 30/min; die höchste Rate allerdings war mit einem höheren PaO₂ assoziiert [699]. In diesem Beitrag wurde die Sorge geäußert, dass niedrigere PaCO₂-Werte zu einer verringerten zerebralen Sauerstoffzufuhr führen können, da die NIRS-Werte in der Gruppe mit einer Atemfrequenz von 30/min tendenziell niedriger waren. Aus

pathophysiologischer Sicht besteht die Befürchtung, dass Überdruckbeatmungen den passiven venösen Rückfluss in den Thorax aufgrund eines erhöhten intrathorakalen Drucks und/oder eines „inadvertent PEEP“ hemmen könnten. Es ist jedoch nicht bekannt, ab welchem Alter dies bei Kindern zu einem Problem werden könnte. Ein kürzlich erschienenes Manuskript unter Verwendung eines Ferkel-Asphyxie-Modells mit Atem-Kreislauf-Stillstand zeigte, dass eine druckgesteuerte Beatmung mit einer Frequenz von 20/min mit einem FiO₂ von 1,0 zu einer ausreichenden Sauerstoffversorgung und gleichzeitiger Normokapnie führte [703].

In Anbetracht dieser Aussagen und unter Berücksichtigung der Schulung und Implementierung empfehlen wir die Verwendung von Minutenvolumina, die näher an denen liegen, die für die Beatmung kritisch kranker Kinder verwendet werden.

Es gibt keine Studien bei Kindern zur optimalen Beatmungsstrategie. Die existierenden Evidenzen wurden aus Versuchen im Tiermodell, Simulationsstudien an Puppen und Umfragen abgeleitet. Studien im Tiermodell verwendeten hauptsächlich ein Schweinemodell des VF-Atem-Kreislauf-Stillstands und befassten sich daher nicht mit der Pathophysiologie der Asphyxie unter Reanimationsmaßnahmen bei Kindern. Eine Studie zeigte, dass die apnoeische Oxygenierung einer Überdruckbeatmung mit einem mechanischen Beatmungsgerät gleichbedeutend war, um die Sauerstoffversorgung in einem VF-Atem-Kreislauf-Stillstand-Modell aufrechtzuerhalten [704]. Eine weitere Studie untersuchte die Auswirkung der Beatmungsparameter auf die Blutgasanalyse und den koronaren Perfusionsdruck während der Wiederbelebungsmaßnahmen und zeigte, dass die Triggereinstellungen deaktiviert werden sollen [705]. Drei Studien an Erwachsenen untersuchten Beatmungsmodi, welche mit Thoraxkompression synchronisiert wurden, und kamen zu dem Schluss, dass diese Vorteile bei der CPR bieten. Es ist jedoch unklar, wie sich dies in die pädiatrische Praxis übertragen lässt [706–708]. Relevanter für die Wieder-

belebung bei Kindern ist eine Studie mit neugeborenen Ferkeln, die zeigte, dass die Verwendung eines selbstfüllenden Beutels, eines T-Stück-Beatmungsgeräts oder eines mechanischen Beatmungsgeräts vergleichbare Auswirkungen auf den Gasaustausch hatten [709]. Dieselbe Gruppe hat die Leckage um einen (ungecufften) Endotrachealtubus während der CPR hervorgehoben, welche mit dem PEEP zunahm [710]. Verschiedene Simulationsstudien an Puppen zeigten, dass die Verwendung von Beatmungssystemen während der CPR bei Erwachsenen die Hände für andere notwendige Aufgaben frei machte [711–713].

Es gibt keine Daten, die bezüglich der Verwendung von PEEP Klarheit schaffen. Es ist bekannt, dass während der CPR ein intrathorakaler Verschluss der Atemwege auftritt und dass die Anwendung des PEEP dies möglicherweise umkehren könnte [714]. Es besteht jedoch auch die Sorge, dass der PEEP den intrathorakalen Druck erhöhen könnte und den venösen Rückstrom während den Kompressionen hemmt. Ein niedriger PEEP verringert wahrscheinlich die Oxygenierung bei Kindern, die bereits vor dem Atem-Kreislauf-Stillstand einen hohen PEEP benötigen.

Schließlich sind bei Kindern, die bereits vor dem Atem-Kreislauf-Stillstand beatmet wurden, möglicherweise keine 5 Initialbeatmungen erforderlich. Die Helfer sollen allerdings überprüfen, ob die Beatmung vor dem Kreislaufstillstand angemessen war – und beispielsweise nicht selbst den Grund für den Atem-Kreislauf-Stillstand darstellt – bevor sie sich entschließen, die Initialbeatmungen wegzulassen.

Adrenalin während des ALS

Es wurden der 2020 PLS COSTR 1541 [143], sowie einige zusätzliche Nicht-RCT für den RR berücksichtigt (Anhang RR 30; [715–725]). Ein kürzeres Zeitintervall bis zur ersten Verabreichung von Adrenalin ist bei Kindern sowohl für Kreislaufstillstände im Krankenhaus (IHCA) als auch außerhalb des Krankenhauses (OHCA) mit einem günstigeren Outcome verbunden. Eine Zeit unter 3 min bis zur ersten Adrena-

lingabe erscheint am günstigsten zu sein. Es konnten keine Subgruppenanalysen zwischen schockbaren und nicht schockbaren Rhythmen durchgeführt werden. Ein Grenzwert von 5 min für das Intervall zwischen den Adrenalindosen bei Kreislaufstillständen von Kindern im Krankenhaus (IHCA) war günstig für das Eintreten eines ROSC, das Überleben bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus und das 12-Monatsüberleben. Wenn das Intervall jedoch auf 3 min festgelegt wurde, war eine häufigere Adrenalingabe für das 12-Monatsüberleben tendenziell schädlich.

Ähnlich wie bei Erwachsenen scheint die Zeit bis zur ersten Adrenalindosis bei traumatischen Kreislaufstillständen unterschiedliche Auswirkungen zu haben: Eine kürzere Zeit (< 15 min) bis zur ersten Dosis im Vergleich zu einer längeren Zeit war mit einer signifikant höheren Rate an ROSC verbunden, jedoch nicht mit einem verbesserten Überleben bei Entlassung oder einem besseren neurologischen Outcome. Darüber hinaus war die frühe Adrenalingabe ein Risikofaktor für die Mortalität in einer Subgruppe mit hämorrhagischem Schock.

In Übereinstimmung mit dem PLS COSTR 1541 wird empfohlen, die erste Adrenalindosis für nicht schockbare Rhythmen so früh wie möglich nach dem Atem-Kreislauf-Stillstand zu verabreichen – wenn möglich innerhalb von 3 min. In Anbetracht des Mangels an Evidenz bezüglich des besten Intervalls empfehlen wir weiterhin ein Intervall von 3–5 min. Vermeiden Sie ein Intervall von weniger als 3 min. Im Fall eines Traumas wird weniger Wert auf frühes Adrenalin gelegt und den Helfern geraten, zunächst eine Behandlung der reversiblen Ursachen in Betracht zu ziehen. Bei schockbaren Rhythmen wird gemäß den pädiatrischen Leitlinien von 2015 empfohlen, nach dem dritten Schock (etwa 4–5 min nach Beginn der CPR) eine erste Dosis Adrenalin zu verabreichen [666]. Vermeiden Sie Adrenalin bei catecholaminergen polymorphen VT, auch wenn diese selten auftreten, da dies die Arrhythmie verschlimmern und das Outcome verschlechtern wird [726].

Zusätzlich wurden andere vasoaktive Medikamente (wie Vasopressin, Terli-

pressin, Milrinon oder Noradrenalin) sowohl in Studien als auch in Berichten über den klinischen Einsatz bei Atem-Kreislauf-Stillstand veröffentlicht. Die Evidenz für oder gegen ihre Verwendung ist nach wie vor sehr schwach und ihre Verwendung kann derzeit nur im Rahmen von Studien empfohlen werden.

Die Verwendung von Amiodaron oder Lidocain während des ALS

Dies war das Thema eines ILCOR COSTR PLS 825 aus dem Jahr 2018 und wurde im ERC 2018 Update veröffentlicht [727]. Die Empfehlungen von 2015 zur Verwendung von Amiodaron oder Lidocain blieben unverändert. Bei der Behandlung der defibrillationsrefraktären VF/pVT bei Kindern kann entweder Amiodaron oder Lidocain verwendet werden. Ärzte sollen das Medikament verwenden, mit dem sie vertraut sind. Eine kürzlich durchgeführte retrospektive vergleichende Kohortenstudie (GWTG-R) ergab für keines der beiden Medikamente einen outcomerelevanten Unterschied (Anhang RR 30.2; [728]).

Atropin während des ALS

Es wurden keine relevanten pädiatrischen Studien oder kürzlich veröffentlichte indirekte Evidenzen für die Anwendung von Atropin bei Kindern im Atem-Kreislauf-Stillstand identifiziert (Anhang RR 31.1). Für andere Zwecke und Dosierungen verweisen wir auf den zugehörigen RR.

Magnesium

Es wurden keine relevanten pädiatrischen Studien oder kürzlich publizierte indirekte Evidenz für eine Änderung der ERC-Leitlinie von 2015 identifiziert, die darauf hinweisen, dass Magnesium während des Atem-Kreislauf-Stillstands routinemäßig verabreicht werden soll (Anhang RR 31.2; [666]). Eine Magnesiumbehandlung ist bei Kindern mit dokumentierter Hypomagnesiämie oder mit Torsade-de-Pointes-Tachykardien unabhängig von der Ursache angezeigt.

Kalzium

Es wurden 2 Beobachtungsstudien identifiziert [729, 730], die keine Gründe lieferten, die Empfehlungen von 2010 zu ändern: „Die routinemäßige Verwendung von Kalzium bei Säuglingen und Kindern im Atem-Kreislauf-Stillstand wird beim Fehlen von Hypokalzämie, Überdosierung von Kalziumkanalblockern, Hypermagnesiämie oder Hyperkaliämie“ nicht empfohlen. (Anhang RR 31.3; [143]).

Bikarbonat

Seit 2010 wurden eine narrative Übersicht [731] und 9 Beobachtungsstudien veröffentlicht, in denen der Zusammenhang zwischen der Verabreichung von Natriumbikarbonat (oder THAM) und dem Outcome bei Kreislaufstillständen im Kindesalter beschrieben wurde (Anhang RR 31.4; [14, 729, 732–737]). Während diese Studien wahrscheinlich durch den Zusammenhang zwischen der Verabreichung von Natriumbikarbonat und einer längeren Reanimationsdauer im Sinn eines „confounding“ verfälscht werden, lieferte keine Studie Hinweise auf eine Änderung der Empfehlung, dass Bikarbonat nicht routinemäßig bei Kreislaufstillständen im Kindesalter verabreicht werden soll.

In den vorangegangenen Leitlinien wurde empfohlen, Bikarbonat bei längeren Kreislaufstillständen, schwerer metabolischer Azidose, hämodynamischer Instabilität, gleichzeitig bestehender Hyperkaliämie und Überdosierung von trizyklischen Antidepressiva in Betracht zu ziehen. Abgesehen von den beiden letztgenannten Indikationen konnten wir jedoch keine Evidenz für die Verwendung von Natriumbikarbonat bei länger andauernden Kreislaufstillständen finden.

Intra-Arrest-Parameter zur Steuerung der CPR

Die Empfehlungen basieren hauptsächlich auf den entsprechenden ILCOR PLS Scoping Review für 2020 [143]. Angesichts der begrenzten Evidenz wurden bei diesen Reviews auch indirekte Daten von Erwachsenen und Daten aus

dem Tiermodell berücksichtigt (Anhang 32.1–32.2–32.3–32.4–32.6).

etCO₂

Der ILCOR PLS 2020 Scoping Review identifizierte 2 Beobachtungsstudien [738, 739]. Es wird angenommen, dass das etCO₂ mit dem Herzzeitvolumen und der Perfusion korreliert. In einer Studie war es jedoch weder mit diastolischem Blutdruck noch mit vordefinierten Endpunkten assoziiert [738]. Dies kann daran liegen, dass das etCO₂ auch vom Minutenvolumen und dem Ventilations-Perfusions-Mismatch beeinflusst wird. Diese Studie war nur deskriptiver Natur in einer sehr stark selektierten Population und bewertete zu keinem Zeitpunkt das Outcome der mit etCO₂-gestützten Reanimationsmaßnahmen.

Das Maß an Sicherheit der verfügbaren Evidenz bei Kindern ist zu niedrig, um Empfehlungen für oder gegen die Verwendung von etCO₂ zur Steuerung der Reanimationsmaßnahmen bei Kindern im Atem-Kreislauf-Stillstand abzugeben. Insbesondere gibt es keinen einzelnen etCO₂-Wert, der als Indikator zum Beenden der Wiederbelebnungsmaßnahmen verwendet werden kann, und es gibt auch keinen einzelnen Wert, der als Zielwert während der CPR oder als Indikator verwendet werden kann, um die CPR fortzusetzen oder abbrechen.

Blutdruck

Bei der Überprüfung des ILCOR PLS 2020 wurden 3 Beobachtungsstudien identifiziert [734, 740, 741]. Eine ausreichende Durchblutung des Myokards und des Gehirngewebes ist für das Outcome von grundlegender Bedeutung und der (diastolische) Blutdruck könnte als klinisch messbarer Surrogatparameter dafür nützlich sein. Die aktuellen Erkenntnisse sind aufgrund des Studiendesigns, der Stichprobengröße und des Selektionsbias von sehr schwacher Evidenz, deuten jedoch auf einen möglichen Zusammenhang zwischen dem diastolischen Blutdruck und dem Outcome des Kindes hin. Aufgrund der Notwendigkeit einer invasiven Blutdrucküberwachung wurden nur Ergebnisse von Kreislaufstillständen im Krankenhaus (IHCA) untersucht. Obwohl in einer

Studie Grenzwerte, unter denen kein Kind überlebte, gefunden werden konnten [741], ist die Evidenz zu begrenzt, um den diastolischen Blutdruck allein als ausreichend zu betrachten, um die Erfolgchancen der CPR oder ein günstiges Outcome vorherzusagen. Das Maß an Sicherheit der verfügbaren Evidenz ist zu niedrig, um Empfehlungen für oder gegen die Verwendung des diastolischen Blutdrucks zur Steuerung der Wiederbelebnungsmaßnahmen bei Kindern mit Atem-Kreislauf-Stillstand abzugeben. Bei Kindern mit Kreislaufstillständen im Krankenhaus (IHCA), bei denen bereits ein arterieller Zugang vorhanden ist und die Situation eine ordnungsgemäße Implementierung ermöglicht, kann eine hämodynamisch gesteuerte CPR in Betracht gezogen werden.

Point of Care Ultraschall (POCUS)

Im 2020 scoping review PLS 814 warnte die ILCOR-Taskforce für Kinder vor einer raschen Einführung von POCUS in die pädiatrische Praxis ohne ausreichende Evidenz, trotz ihres großen Potenzials und ihrer weit verbreiteten Akzeptanz. Die Erfassung und Interpretation von Bildern bei Kindern ist komplexer, insbesondere bei Kindern mit bereits bestehenden Herzerkrankungen. Darüber hinaus fallen erhebliche Material- und Schulungskosten an, die in ressourcenarmen Umgebungen relevant sein können. Es wird die Verwendung von POCUS durch kompetente Helfer empfohlen – wenn dies möglich ist – um reversible Ursachen für einen Kreislaufstillstand (4 H's und 4 HITS) zu identifizieren. POCUS kann auch eine Rolle zum Nachweis der Perfusion spielen, dies soll jedoch derzeit nur im Rahmen der Forschung erfolgen. POCUS soll derzeit nicht zur Prognose verwendet werden.

Nahinfrarotspektroskopie (NIRS)

Der verwandte ILCOR PLS 2020 identifizierte 2 kleine Beobachtungsstudien [742, 743]. Die Literatur für Erwachsene ist umfangreicher, aber das Maß an Evidenz ist immer noch gering. Derzeit besteht kein Konsens über eine Schwelle für die regionale zerebrale Sauerstoffsättigung (rSO₂), die als Indikator für die Erfolgsaussichten der Wiederbe-

lebungsmaßnahmen verwendet werden kann, und es gibt auch keinen einzigen rSO₂-Wert, der als Ziel während der CPR oder als Argument zum Fortfahren der CPR verwendet werden kann. Die Literatur für Erwachsene legt nahe, dass ein Trend des rSO₂ der nützlichste prognostische Indikator ist, auch wenn dies bei Erwachsenen oder Kindern noch nicht validiert wurde.

Laktat oder Kalium

Es wurden 2 SR [686, 687], eine Leitlinie [685] und 7 relevante Nicht-RCT-Studien identifiziert [693, 744–749].

Eine Kaliummessung während des Atem-Kreislauf-Stillstands (Intra-arrest-Messung) ist angezeigt, um eine Hyperkaliämie als mögliche reversible Ursache des Atem-Kreislauf-Stillstands auszuschließen. Es gibt jedoch keine ausreichende Evidenz um Kalium als Prognosefaktor bei Kindern im Atem-Kreislauf-Stillstand zu verwenden. Selbst eine extreme Hyperkaliämie soll einer CPR und ECLS bei Kindern nicht entgegenstehen.

Erhöhte Laktatwerte sind mit schlechterem kurz- und langfristigen Outcome bei kritisch kranken Kindern, Kindern mit Atem-Kreislauf-Stillstand im Krankenhaus (IHCA) sowie bei mit ECLS behandelten Kindern assoziiert. Laktatwerte allein ermöglichen keine frühzeitige Prognose. Es soll beachtet werden, dass i.o. Laktatproben während des Atem-Kreislauf-Stillstands höher sein können als gewöhnliche arterielle und venöse Proben (nur belegt durch Hinweise aus dem Tiermodell).

Reversible Ursachen für den pädiatrischen Atem-Kreislauf-Stillstand: 4 H's und 4 HITS

Für die meisten Themen verweisen wir auf den entsprechenden RR in diesem Dokument. In diesem Absatz werden die potenziellen Reversibilitäts- und/oder Behandlungsoptionen bestimmter Pathologien hervorgehoben. Zu diesem Zweck wurden 2 Leitlinien [676, 750], ein SR [751], 8 Beobachtungsstudien und mehrere Übersichtspublikationen identifiziert (Anhang RR 33.1; [484–486, 737, 752–755]).

Obwohl es andere Ursachen für Kreislaufstillstände geben könnte, die als reversibel angesehen werden könnten – einige Quellen schlagen 5 oder sogar 6 Hs und Ts vor – soll die Merkhilfe „4 H's und HITS“ beibehalten werden, da sie sowohl mit den Leitlinien für Erwachsene übereinstimmt, als auch die Schulung erleichtert [677]. Es wurden Hyperthermie (siehe RR 17.1) und Hypoglykämie (siehe RR 15) hinzugefügt und Azidose als reversible Ursache gestrichen (siehe RR 31.4). Spezifische Anwendungsgebiete z. B. Herzchirurgie, Neurochirurgie, sowie Trauma, Sepsis und pulmonale Hypertonie erfordern einen spezifischeren Ansatz. Des Weiteren hat die breitere Verwendung von eCPR das Konzept der Reversibilität grundlegend verändert (siehe RR 33.3).

Einrichtungen, die herzchirurgische Operationen bei Kindern durchführen, sollen institutsspezifische Algorithmen für Kreislaufstillstände nach Operationen bei kindlichen Patienten festlegen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass diese sehr spezifische Gruppe von Patienten von einer anderen Abfolge der Aktionen profitiert. Es gibt 2 kürzlich veröffentlichte Leitlinien der Society of Thoracic Surgeons und der European Association for Cardio-Thoracic Surgery, die als Beispiel für die Entwicklung eines solchen Algorithmus herangezogen werden können [676].

Kreislaufstillstand bei septischen Kindern

Es wurden ein SR [756] und 10 Nicht-RCT-Studien herangezogen (Anhang RR 33.2; [733, 757–763]). Schwere Sepsis und septischer Schock sind bekannte Risikofaktoren für Kreislaufstillstände bei Kindern. Sepsisassoziierte Kreislaufstillstände im Krankenhaus (IHCA) haben ein schlechtes Outcome und die Prävention stellt den wichtigsten Faktor dar. Verschiedene Strategien, einschließlich der Verwendung von ECMO bei refraktärem septischem Schock können verwendet werden, um einen sepsisassoziierten Atem-Kreislauf-Stillstand im Krankenhaus (IHCA) zu verhindern. Auf der Grundlage der derzeit verfügbaren Daten können keine Empfehlungen abgegeben werden, die vom Standard-PALS-

Algorithmus abweichen. Eine frühzeitige Prüfung und Behandlung möglicher reversibler Ursachen wird dringend empfohlen. Ein kurz vor oder während der ECMO-Kanülierung auftretender Atem-Kreislauf-Stillstand im Krankenhaus (IHCA) soll eine ECMO-Initiation bei pädiatrischen Patienten mit refraktärem septischem Schock nicht ausschließen, da Studien darauf hinweisen, dass diese Kinder möglicherweise am meisten vom ECLS profitieren. Die Verwendung hoher Durchflussraten (über 150 ml/kg/min) kann möglicherweise das Outcome verbessern. Soll eCPR als Therapie für den septischen Atem-Kreislauf-Stillstand im Krankenhaus (IHCA) in Betracht gezogen werden, muss das ECMO-Team frühzeitig nach Einleitung der PALS-Maßnahmen auf institutsspezifische SOP basierend aktiviert werden.

Traumatischer Atem-Kreislauf-Stillstand

Unser RR identifizierte 2 Leitlinien [764, 765], 10 SR [766–775], 17 Beobachtungsstudien [449, 570, 776–789] und viele Beiträge mit indirekten Evidenzen (Anhang RR 34).

Der traumatische Atem-Kreislauf-Stillstand im Kindesalter hat eine schlechte Prognose. Kinder mit traumatischem Atem-Kreislauf-Stillstand, die nach dem Eintreffen in der Notaufnahme einen Atem-Kreislauf-Stillstand erleiden, haben bessere Reanimationserfolge als Kinder mit präklinischem Atem-Kreislauf-Stillstand. Strategien zur Verbesserung frühzeitiger Reanimationsmaßnahmen können möglicherweise das Outcome verändern. Im Fall eines traumatischen Atem-Kreislauf-Stillstands beim Kind soll die Reanimation eingeleitet werden, wenn keine Anzeichen eines irreversiblen Todes vorliegen. Längere Wiederbelebungsmaßnahmen bei Kindern nach einer stumpfen Verletzung und lichtstarrten Pupillen, bei denen die CPR länger als 15 min vor Ankunft in der Notaufnahme andauerte (oder vor der Einleitung adäquater CPR-Techniken im Krankenhaus), sind wahrscheinlich nicht erfolgreich und die Beendigung der Wiederbelebung kann in Betracht gezogen werden.

Es gibt nicht genügend Evidenz, um für oder gegen eine bestimmte Abfolge von Maßnahmen beim traumatischen Atem-Kreislauf-Stillstand im Kindesalter zu plädieren. Die frühzeitige Behebung einiger der reversiblen Ursachen könnte jedoch zu einer verbesserten Rate an ROSC während der prähospitalen Behandlung führen. Angesichts dessen und der schlechten Prognose eines traumatischen Atem-Kreislauf-Stillstands im Kindesalter mit Standardversorgung empfehlen wir die nahezu sofortige Verwendung eines Maßnahmenbündels im prähospitalen Umfeld, welches speziell auf die Therapie reversibler Ursachen abzielt. Thoraxkompressionen sollen nach Möglichkeit je nach verfügbarem Personal gleichzeitig mit anderen Interventionen durchgeführt werden. Die Behandlung vermuteter reversibler Ursachen, basierend auf dem Verletzungsmechanismus, könnte der Verabreichung von Adrenalin vorausgehen.

Erwägen Sie eine Notfallthorakotomie bei pädiatrischen Patienten mit traumatischem Atem-Kreislauf-Stillstand nach penetrierendem Trauma mit oder ohne Lebenszeichen bei Ankunft in der Notaufnahme, da dies das Überleben dieser Kinder verbessern kann. Hochqualifizierte Fachkräfte können in Situationen, in denen das Verfahren bereits implementiert wurde, auch eine prähospitalen Thorakotomie für diese Kinder in Betracht ziehen.

Aktuelle Erkenntnisse zeigen keinen Nutzen (oder ein noch schlechteres Outcome) der Thorakotomie bei Kindern nach stumpfen Verletzungen, weshalb diese Intervention im Allgemeinen nicht empfohlen wird. Bei sehr ausgewählten Patienten mit stumpfen Verletzungen können hochqualifizierte Fachkräfte auf der Grundlage einer gründlichen Beurteilung dennoch eine Indikation für eine Notfallthorakotomie stellen. Kinder mit traumatischen Kreislaufstillständen sollen vorzugsweise direkt in ein großes Traumazentrum transportiert werden, welches für Kinder (oder sowohl Kinder als auch Erwachsene) bestimmt ist, basierend auf den lokalen Gegebenheiten der Traumaversorgung (Expertenkonsens).

Pulmonale Hypertonie

Es wird auf die ILCOR 2020 EvUp PLS 56 [143] und die hochwertige wissenschaftliche Stellungnahme der American Heart Association zur CPR bei Kindern mit Herzerkrankungen sowie auf die spezielle Leitlinie zur intensivmedizinischen Behandlung von pulmonaler Hypertonie bei Kindern durch das European Pediatric Pulmonary Vascular Disease Network verwiesen (Anhang RR 35; [790, 791]). Erwägen Sie die Möglichkeit einer pulmonalen Hypertonie bei Kindern mit Atem-Kreislauf-Stillstand im Krankenhaus (IHCA), die ein vordefiniertes Risiko dafür haben [792]. Sobald sich bei einem Kind mit pulmonaler Hypertonie ein Atem-Kreislauf-Stillstand entwickelt, können Thoraxkompressionen und Wiederbelebungsmedikamente bei der Aufrechterhaltung des pulmonalen Blutflusses, der linksventrikulären Füllung und des Herzzeitvolumens unwirksam sein. Es ist äußerst wichtig, nach möglichen reversiblen Ursachen für einen erhöhten pulmonalen Gefäßwiderstand zu suchen und diese zu behandeln, einschließlich einer versehentlichen Unterbrechung der Einnahme spezieller Medikamente zur Behandlung der pulmonalen Hypertonie, sowie eine Hyperkapnie, Hypoxie, Arrhythmie, Herzbeutel tamponade oder Arzneimitteltoxizität. Halten Sie die Normokapnie aufrecht und sorgen Sie für eine ausreichende Oxygenierung. Für die initiale Behandlung von pulmonalen hypertensiven Krisen kann die Verabreichung von Sauerstoff und die Induktion einer Alkalose durch Hyperventilation oder der Verabreichung alkalisierender Substanzen nützlich sein, während pulmonalspezifische Vasodilatoren verabreicht werden. Es gibt keine sichere Evidenz dafür, dass die Verabreichung von alkalisierenden Substanzen das Outcome verbessert; eine übermäßige Beatmung während der Wiederbelebung kann ebenfalls schädlich sein. Eine Überdruckbeatmung verringert den systemischen venösen Rückfluss, die rechtsventrikuläre Füllung und das Herzzeitvolumen, das während der Thoraxkompression erzeugt wird. Wenn eine qualitativ hochwertige CPR trotz Bereitstellung einer spezifischen Therapie, einschließlich pulmonaler Vasodilato-

ren, unwirksam bleibt, kann eine rasche Berücksichtigung von ECLS eine Überlebenschance, entweder als Bridging zur Herz-/Lungentransplantation bieten oder um die Behebung der auslösenden Ursache zu ermöglichen.

Extrakorporale eCPR

In Übereinstimmung mit dem ILCOR 2019 COSTR Update zur Verwendung von eCPR bei Kindern soll die eCPR für Kinder mit Atem-Kreislauf-Stillstand in der Notaufnahme oder im Krankenhaus mit einer vermuteten oder bestätigten reversiblen Ursache in Betracht gezogen werden, wenn konventionelle ALS-Maßnahmen nicht sofort zum ROSC führen (schwache Empfehlung, sehr schwache Evidenz; [696]). Eine wesentliche Voraussetzung ist das organisatorische Umfeld „mit einem starken institutionellen Engagement für ein Reanimationskonzept, das eCPR mit geeigneten Qualitätsverbesserungssystemen umfasst“. Um eine realistische Entscheidung zur Verwendung von eCPR zu treffen, sollen Institutionen auch die Evidenz für Kosteneffizienz berücksichtigen (siehe Kapitel über Ethik; [694]). Angesichts des hohen Ressourcenbedarfs und der Tatsache, dass das Outcome mit der Zeit bis zur Einleitung und der Qualität der CPR vor der eCPR-Einleitung zusammenhängt, sind die Indikationen für eCPR beim Atem-Kreislauf-Stillstand außerhalb des Krankenhauses sehr begrenzt (Anhang RR 33.3; [793–797]).

Management nach ROSC

Die Evidenz des Einflusses der Charakteristika von Behandlungszentren (oder regionalen Versorgungssystemen) auf das Outcome von Kindern mit ROSC nach Kreislaufstillständen in oder außerhalb des Krankenhauses (IHCA oder OHCA) sind widersprüchlich und aufgrund vieler Störfaktoren schwer zu interpretieren [129, 798–800]. Dies soll eine Forschungspriorität sein. In Erwartung weiterer Daten ist es empfehlenswert, Kinder, die nach Atem-Kreislauf-Stillstand wiederbelebt wurden, in eine Einrichtung aufzunehmen, die über die erforderlichen Kompetenzen und Ressourcen

für eine ordnungsgemäße neuroprotektive Versorgung nach ROSC, organ- und/oder lebenserhaltende Behandlungen, eine umfassende neurologische Beurteilung und psychosoziale Unterstützung verfügt [801].

Blutdruck

Die pädiatrische ILCOR-Taskforce führte zu diesem Thema eine EvUp (PLS 820) durch [143]. Die Autoren identifizierten 5 Beobachtungsstudien, die belegen, dass eine Hypotonie nach dem Atem-Kreislauf-Stillstand unter der 5. altersspezifischen Perzentile mit einem schlechteren Outcome assoziiert ist (Anhang RR 36.1; [802–806]). Eine Veröffentlichung zeigte, dass eine arterielle Hypertonie unmittelbar nach dem Atem-Kreislauf-Stillstand mit einem verbesserten Outcome assoziiert ist. Kinder, die höhere Dosen an Vasopressorunterstützung benötigen, haben jedoch geringere Überlebensraten bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus.

Sauerstoffversorgung und Beatmung

Die pädiatrische ILCOR-Taskforce führte nach ROSC einen SR zu Sauerstoff- und Beatmungszielen durch (Anhang RR 36.2; [143]). Sie schlagen vor, dass Helfer das PaO₂ nach ROSC messen und einen Wert festlegen, der dem spezifischen Zustand des Kindes entspricht. In Ermangelung spezifischer Patientendaten sollen Helfer auf eine Normoxämie nach ROSC abzielen (schwache Empfehlung, sehr schwache Evidenz). Helfer sollen auch das PaCO₂ nach ROSC messen und auf eine Normokapnie abzielen (schwache Empfehlung, sehr schwache Evidenz). Anpassungen des Ziel-PaCO₂ sollen für bestimmte Populationen in Betracht gezogen werden, bei denen die Normokapnie möglicherweise nicht wünschenswert ist (z.B. chronische Lungenerkrankung mit chronischer Hyperkapnie, univentriculäres Herz). Es ist unklar, ob eine Strategie der milden permissiven Hyperkapnie bei beatmeten Kindern mit Atemstillstand von Vorteil sein könnte.

Gezieltes Temperaturmanagement (TTM)

In Übereinstimmung mit dem ILCOR 2019 COSTR Update zum gezielten Temperaturmanagement (TTM) bei Kindern nach ROSC soll [696] TTM für Kinder verwendet werden, die einen ROSC erreichen (Anhang RR 36.3). Obwohl dies möglicherweise von Vorteil ist, erfordern niedrigere Zielwerte für das Temperaturmanagement (z. B. 34 °C) geeignete Systeme der pädiatrischen Intensivmedizin und sollen nur in Situationen verwendet werden, in denen diese vorhanden sind. Ob bestimmte Temperaturziele für bestimmte Untergruppen besser geeignet sind, wird derzeit nicht durch Evidenz gestützt und liegt daher im Ermessen des behandelnden Teams. Dies gilt auch für die Dauer des gezielten Temperaturmanagements (24–72 h).

Prognose

Ein ILCOR 2020 EvUp untersuchte die Rolle des EEG für die neurologische Prognose 238. Obwohl EEG-Hintergrundmuster mit neurologischem Outcome assoziiert zu sein scheinen, kamen die Autoren zu dem Schluss, dass weder das Vorhandensein noch das Fehlen eines einzelnen Faktors ein Überleben mit hoher Genauigkeit oder ein Überleben mit einem günstigen neurologischen Outcome vorhersagt. Innerhalb der ersten 24 h gemessene biologische Marker wie erhöhtes Blutlaktat oder Blut-pH-Wert oder Basenüberschuss können indikativ sein, aber die Grenzwerte bleiben unbekannt. Neuroimaging mit CT, EEG oder biologischen Markern könnte in Zukunft vielversprechend sein (Anhang RR 36.6).

Korrespondierende Übersetzer der DACH-Arbeitsgruppe „Paediatric Life Support“ des Austrian, German und Swiss Resuscitation Councils

- Daniel Pfeiffer, München
- Florian Hoffmann, München
- Gudrun Burda, Wien
- Francesco Cardona, Wien
- Michael Sasse, Hannover
- Sebastian Brenner, Dresden
- Christoph Eich, Hannover
- Martin Olivieri, München
- Christian Both, Zürich

Korrespondenzadresse

Patrick Van de Voorde

Federal Department of Health, EMS Dispatch Center, East & West Flanders
Brüssel, Belgien
florian.hoffmann@med.uni-muenchen.de

Korrespondierender Übersetzer

PD Dr. Florian Hoffmann
Deutscher Rat für Wiederbelebung – German Resuscitation Council (GRC) e.V.
c/o, Kinderklinik und Kinderpoliklinik im Dr. von Haunerschen Kinderspital,
Interdisziplinäre Kinderintensivstation – Kindernotfallmedizin,
LMU Klinikum München
Lindwurmstr. 4, 80337 München
florian.hoffmann@med.uni-muenchen.de

Danksagung. Die Übersetzung dieses Kapitels wurde von PD Dr. Florian Hoffmann, Dr. med. Michael Sasse, Ass.Prof. Dr. med. univ. Gudrun Burda, Prof. Dr. med. Sebastian Brenner, Dr. med. Christian Peter Both, Prof. Dr. med. Christoph Bernhard Eich, Francesco Cardona und Daniel Pfeiffer geleistet. Wir danken Alexander Moylan vom Imperial College London, Großbritannien, für seine Unterstützung bei der Erstellung einiger Evidenzblätter sowie Nele Pauwels, Informationsspezialistin an der Universität Gent, Belgien, für ihre Unterstützung bei der Entwicklung der erforderlichen Suchstrategien.

Wir danken auch Sophie Skellett vom Great Ormond Street Hospital in London, Großbritannien, für ihre kritische Überarbeitung und die Vorschläge zum nahezu endgültigen Entwurf.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. F. Hoffmann reports speaker honorarium from ZOLL. I. Maconochie reports his role as associate editor *BMJ Open Paediatrics*. [Stand 7.5.2020, Originalartikel in *Resuscitation*]. P. Van de Voorde, N. M. Turner, J. Djakow, N. de Lucas, A. Martinez-Mejias, D. Biarent, R. Bingham, O. Bressaud, G. B. Johannesdottir and T. Lauritsen declare that they have no competing interests.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Soreide E, Morrison L, Hillman K et al (2013) The formula for survival in resuscitation. *Resuscitation* 84(11):1487–1493. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2013.07.020>
2. Brouwers MC, Kho ME, Browman GP et al (2010) AGREE II: advancing guideline development, reporting and evaluation in health care. *J Clin Epidemiol* 63(12):1308–1311. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2010.07.001>
3. Shea BJ, Hamel C, Wells GA et al (2009) AMSTAR is a reliable and valid measurement tool to assess

the methodological quality of systematic reviews. *J Clin Epidemiol* 62(10):1013–1020

4. Perkins GD, Olasveengen TM, Maconochie I et al (2018) European resuscitation council guidelines for resuscitation: 2017 update. *Resuscitation* 123:43–50. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.12.007>
5. Perkins GD, Graesner JT, Semeraro F et al (2021) European resuscitation council guidelines 2021—executive summary. *Resuscitation* 161:1–60. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.003>
6. Edwards-Jackson N, North K, Chieme M et al (2020) Outcomes of in-hospital paediatric cardiac arrest from a tertiary hospital in a low-income African country. *Paediatr Int Child Health* 40(1):11–15. <https://doi.org/10.1080/20469047.2019.1570443>
7. Nolan JP, Monsieurs KG, Bossaert L et al (2020) European Resuscitation Council COVID-19 guidelines executive summary. *Resuscitation* 153:45–55. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.06.001>
8. Shen J, Sun J, Zhao D et al (2020) Characteristics of Nosocomial Infections in Children Screened for SARS-CoV-2 Infection in China. *Med Sci Monit* 26:e928835. <https://doi.org/10.12659/MSM.928835>
9. Ludvigsson JF (2020) Systematic review of COVID-19 in children shows milder cases and a better prognosis than adults. *Acta Paediatr* 109(6):1088–1095. <https://doi.org/10.1111/apa.15270>
10. Dong Y, Mo X, Hu Y et al (2020) Epidemiology of COVID-19 Among Children in China. *Pediatrics*. <https://doi.org/10.1542/peds.2020-0702>
11. Rauf A, Abu-Izneid T, Olatunde A et al (2020) COVID-19 pandemic: epidemiology, etiology, conventional and non-conventional therapies. *Int J Environ Res Public Health*. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218155>
12. Chao JY, Derespina KR, Herold BC et al (2020) Clinical characteristics and outcomes of hospitalized and critically ill children and adolescents with Coronavirus disease 2019 at a tertiary care medical center in new York city. *J Pediatr* 223:14–19e2. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2020.05.006>
13. Garcia-Salido A, Leoz-Gordillo I, Martinez de Azagra-Garde A et al (2020) Children in critical care Due to severe acute respiratory syndrome Coronavirus 2 infection: experience in a Spanish hospital. *Pediatr Crit Care Med* 21(8):e576–e580. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000002475>
14. Nehme Z, Namachivayam S, Forrest A, Butt W, Bernard S, Smith K (2018) Trends in the incidence and outcome of paediatric out-of-hospital cardiac arrest: a 17-year observational study. *Resuscitation* 128:43–50. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.04.030>
15. Phillips RS, Scott B, Carter SJ et al (2015) Systematic review and meta-analysis of outcomes after cardiopulmonary arrest in childhood. *PLoS ONE* 10(6):e130327. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130327>
16. Gerein RB, Osmond MH, Stiell IG, Nesbitt LP, Burns S (2006) What are the etiology and epidemiology of out-of-hospital pediatric cardiopulmonary arrest in Ontario, Canada? *Acad Emerg Med* 13(6):653–658 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=16670256)
17. Lee J, Yang WC, Lee EP et al (2019) Clinical survey and predictors of outcomes of pediatric out-of-hospital cardiac arrest admitted to the emergency

- department. *Sci Rep* 9(1):7032. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43200-0>
18. Goto Y, Funada A, Goto Y (2016) Duration of prehospital cardiopulmonary resuscitation and favorable neurological outcomes for pediatric out-of-hospital cardiac arrests: a nationwide, population-based cohort study. *Circulation* 134(25):2046–2059. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.116.023821>
 19. Matsui S, Sobue T, Irisawa T et al (2020) Poor long-term survival of out-of-hospital cardiac arrest in children. *Int Heart J* 61(2):254–262. <https://doi.org/10.1536/ihj.19-574>
 20. Okubo M, Chan HK, Callaway CW, Mann NC, Wang HE (2020) Characteristics of paediatric out-of-hospital cardiac arrest in the United States. *Resuscitation* 153:227–233. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.04.023>
 21. Holmberg MJ, Ross CE, Fitzmaurice GM et al (2019) Annual incidence of adult and pediatric in-hospital cardiac arrest in the United States. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 12(7):e005580. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31545574>
 22. Skellett S, Orzechowska I, Thomas K, Fortune PM (2020) The landscape of paediatric in-hospital cardiac arrest in the United Kingdom National Cardiac Arrest Audit. *Resuscitation* 155:165–171. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.07.026>
 23. Booth A, Moylan A, Hodgson J et al (2018) Resuscitation registers: how many active registers are there and how many collect data on paediatric cardiac arrests? *Resuscitation* 129:70–75. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.03.029>
 24. Weiss SL, Peters MJ, Alhazzani W et al (2020) Surviving sepsis campaign international guidelines for the management of septic shock and sepsis-associated organ dysfunction in children. *Pediatr Crit Care Med* 21(2):e52–e106. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000002198>
 25. Hamid MA, Chandna A, Siddiqui S, Fayyaz J (2016) Pulse oximetry: a reliable and cost effective screening tool in children with pneumonia for developing countries. *J Pak Med Assoc* 66(8):1015–1018 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27524539>)
 26. Bamber AR, Mifsud W, Wolfe I et al (2015) Potentially preventable infant and child deaths identified at autopsy: findings and implications. *Forensic Sci Med Pathol* 11(3):358–364. <https://doi.org/10.1007/s12024-015-9681-9>
 27. Hansmann A, Morrow BM, Lang HJ (2017) Review of supplemental oxygen and respiratory support for paediatric emergency care in sub-Saharan Africa. *Afr J Emerg Med* 7(Suppl):S10–S19. <https://doi.org/10.1016/j.afjem.2017.10.001>
 28. Mendelson J (2018) Emergency department management of pediatric shock. *Emerg Med Clin North Am* 36(2):427–440. <https://doi.org/10.1016/j.emc.2017.12.010>
 29. Davis AL, Carcillo JA, Aneja RK et al (2017) American college of critical care medicine clinical practice parameters for hemodynamic support of pediatric and neonatal septic shock. *Crit Care Med* 45(6):1061–1093. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000002425>
 30. Rambaud-Althaus C, Althaus F, Genton B, D'Acremont V (2015) Clinical features for diagnosis of pneumonia in children younger than 5 years: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Infect Dis* 15(4):439–450. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(15\)70017-4](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(15)70017-4)
 31. Opiyo N, English M (2011) What clinical signs best identify severe illness in young infants aged 0–59 days in developing countries? A systematic review. *Arch Dis Child* 96(11):1052–1059. <https://doi.org/10.1136/adc.2010.186049>
 32. Acker SN, Ross JT, Partrick DA, Tong S, Bensard DD (2015) Pediatric specific shock index accurately identifies severely injured children. *J Pediatr Surg* 50(2):331–334. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2014.08.009>
 33. Rousseaux J, Grandbastien B, Dorkenoo A, Lampin ME, Leteurre S, Leclerc F (2013) Prognostic value of shock index in children with septic shock. *Pediatr Emerg Care* 29(10):1055–1059. <https://doi.org/10.1097/PEC.0b013e3182a5c99c>
 34. Strutt J, Flood A, Kharbada AB (2019) Shock index as a predictor of morbidity and mortality in pediatric trauma patients. *Pediatr Emerg Care* 35(2):132–137. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000001733>
 35. Shah S, Kaul A, Jadhav Y, Shiwarkar G (2020) Clinical outcome of severe sepsis and septic shock in critically ill children. *Trop Doct* 50(3):186–190. <https://doi.org/10.1177/0049475520914831>
 36. Krishnan SG, Wong HC, Ganapathy S, Ong GY (2020) Oximetry-detected pulsus paradoxus predicts for severity in paediatric asthma. *Arch Dis Child* 105(6):533–538. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2019-318043>
 37. Fleming S, Gill P, Jones C et al (2015) The diagnostic value of capillary refill time for detecting serious illness in children: a systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE* 10(9):e138155. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138155>
 38. Scott HF, Deakynne SJ, Woods JM, Bajaj L (2015) The prevalence and diagnostic utility of systemic inflammatory response syndrome vital signs in a pediatric emergency department. *Acad Emerg Med* 22(4):381–389. <https://doi.org/10.1111/acem.12610>
 39. Brissaud O, Botte A, Cambonie G et al (2016) Experts' recommendations for the management of cardiogenic shock in children. *Ann Intensive Care* 6(1):14. <https://doi.org/10.1186/s13613-016-0111-2>
 40. Paul R (2018) Recognition, diagnostics, and management of pediatric severe sepsis and septic shock in the emergency department. *Pediatr Clin North Am* 65(6):1107–1118. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2018.07.012>
 41. Blacklock C, Mayon-White R, Coad N, Thompson M (2011) Which symptoms and clinical features correctly identify serious respiratory infection in children attending a paediatric assessment unit? *Arch Dis Child* 96(8):708–714. <https://doi.org/10.1136/adc.2010.206243>
 42. Daw WJ, Kingshott RN, Elphick HE (2017) Poor inter-observer agreement in the measurement of respiratory rate in children: a prospective observational study. *BMJ Paediatr Open* 1(1):e173. <https://doi.org/10.1136/bmjpo-2017-000173>
 43. Wang EE, Law BJ, Stephens D et al (1996) Study of interobserver reliability in clinical assessment of RSV lower respiratory illness: a Pediatric Investigators Collaborative Network for Infections in Canada (PICNIC) study. *Pediatr Pulmonol* 22(1):23–27. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0496\(199607\)22:1<23::AID-PPUL4>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0496(199607)22:1<23::AID-PPUL4>3.0.CO;2-L)
 44. Kemper KJ, Benson MS, Bishop MJ (1992) Interobserver variability in assessing pediatric postextubation stridor. *Clin Pediatr* 31(7):405–408. <https://doi.org/10.1177/00092289203100705>
 45. de Groot MG, de Neef M, Otten MH, van Woensel JBM, Bem RA (2020) Interobserver agreement on clinical judgment of work of breathing in spontaneously breathing children in the pediatric intensive care unit. *J Pediatr Intensive Care* 9(1):34–39. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1697679>
 46. Balamuth F, Alpern ER, Grundmeier RW et al (2015) Comparison of two sepsis recognition methods in a pediatric emergency department. *Acad Emerg Med* 22(11):1298–1306. <https://doi.org/10.1111/acem.12814>
 47. Despins LA (2017) Automated detection of sepsis using electronic medical record data: a systematic review. *J Healthc Qual* 39(6):322–333. <https://doi.org/10.1097/JHQ.0000000000000066>
 48. Potes C, Conroy B, Xu-Wilson M, Newth C, Inwald D, Frassica J (2017) A clinical prediction model to identify patients at high risk of hemodynamic instability in the pediatric intensive care unit. *Crit Care* 21(1):282. <https://doi.org/10.1186/s13054-017-1874-z>
 49. Fernandez A, Benito J, Mintegi S (2017) Is this child sick? Usefulness of the pediatric assessment triangle in emergency settings. *J Pediatr* 93(Suppl 1):60–67. <https://doi.org/10.1016/j.jpmed.2017.07.002>
 50. Horeczko T, Enriquez B, McGrath NE, Gausche-Hill M, Lewis RJ (2013) The pediatric assessment triangle: accuracy of its application by nurses in the triage of children. *J Emerg Nurs* 39(2):182–189. <https://doi.org/10.1016/j.jen.2011.12.020>
 51. Gausche-Hill M, Eckstein M, Horeczko T et al (2014) Paramedics accurately apply the pediatric assessment triangle to drive management. *Prehosp Emerg Care* 18(4):520–530. <https://doi.org/10.3109/10903127.2014.912706>
 52. Fernandez A, Ares MI, Garcia S, Martinez-Indart L, Mintegi S, Benito J (2017) The validity of the pediatric assessment triangle as the first step in the triage process in a pediatric emergency department. *Pediatr Emerg Care* 33(4):234–238. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000000717>
 53. Fleming S, Thompson M, Stevens R et al (2011) Normal ranges of heart rate and respiratory rate in children from birth to 18 years of age: a systematic review of observational studies. *Lancet* 377(9770):1011–1018. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)62226-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)62226-X)
 54. O'Leary F, Hayden A, Lockie F, Peat J (2015) Defining normal ranges and centiles for heart and respiratory rates in infants and children: a cross-sectional study of patients attending an Australian tertiary hospital paediatric emergency department. *Arch Dis Child* 100(8):733–737. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2014-307401>
 55. Sepanski RJ, Godambe SA, Zaritsky AL (2018) Pediatric vital sign distribution derived from a multi-centered emergency department database. *Front Pediatr* 6:66. <https://doi.org/10.3389/fped.2018.00066>
 56. Nijman RG, Thompson M, van Veen M, Perera R, Moll HA, Oostenbrink R (2012) Derivation and validation of age and temperature specific reference values and centile charts to predict lower respiratory tract infection in children with fever: prospective observational study. *BMJ* 345:e4224. <https://doi.org/10.1136/bmj.e4224>
 57. Hagedoorn NN, Zachariasse JM, Moll HA (2019) A comparison of clinical paediatric guidelines for hypotension with population-based lower centiles: a systematic review. *Crit Care* 23(1):380. <https://doi.org/10.1186/s13054-019-2653-9>
 58. Haque IU, Zaritsky AL (2007) Analysis of the evidence for the lower limit of systolic and mean arterial pressure in children. *Pediatr Crit Care Med* 8(2):138–144. [https://doi.org/10.1097/01.PCC.0000257039.32593.DC \(In eng\)](https://doi.org/10.1097/01.PCC.0000257039.32593.DC (In eng))

59. Eytan D, Goodwin AJ, Greer R, Guerguerian AM, Laussen PC (2017) Heart rate and blood pressure centile curves and distributions by age of hospitalized critically ill children. *Front Pediatr* 5:52. <https://doi.org/10.3389/fped.2017.00052>
60. Jackson LV, Thalange NK, Cole TJ (2007) Blood pressure centiles for Great Britain. *Arch Dis Child* 92(4):298–303. <https://doi.org/10.1136/adc.2005.081216>
61. Xi B, Zong X, Kelishadi R et al (2016) Establishing international blood pressure references among nonoverweight children and adolescents aged 6 to 17 years. *Circulation* 133(4):408–408. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.115.017936>
62. Duke T, Blaschke AJ, Sialis S, Bonkowsky JL (2002) Hypoxaemia in acute respiratory and non-respiratory illnesses in neonates and children in a developing country. *Arch Dis Child* 86(2):108–112. <https://doi.org/10.1136/adc.86.2.108>
63. Salyer JW (2003) Neonatal and pediatric pulse oximetry. *Respir Care* 48(4):386–396 (discussion 397–8)
64. Tobin MJ, Laghi F, Jubran A (2020) Why COVID-19 silent hypoxemia is baffling to physicians. *Am J Respir Crit Care Med* 202(3):356–360. <https://doi.org/10.1164/rccm.202006-2157CP>
65. Weber MW, Usen S, Palmer A, Jaffar S, Mulholland EK (1997) Predictors of hypoxaemia in hospital admissions with acute lower respiratory tract infection in a developing country. *Arch Dis Child* 76(4):310–314. <https://doi.org/10.1136/adc.76.4.310>
66. Aubertin G, Marguet C, Delacourt C et al (2012) Recommendations for pediatric oxygen therapy in acute and chronic settings: needs assessment, implementation criteria, prescription practices and follow-up. *Arch Pediatr* 19(5):528–536. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2012.02.016>
67. Carruthers DM, Harrison BD (1995) Arterial blood gas analysis or oxygen saturation in the assessment of acute asthma? *Thorax* 50(2):186–188. <https://doi.org/10.1136/thx.50.2.186>
68. Kobayashi M, Fukuda S, Takano KI, Kamizono J, Ichikawa K (2018) Can a pulse oxygen saturation of 95% to 96% help predict further vital sign destabilization in school-aged children?: a retrospective observational study. *Medicine* 97(25):e11335. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000001135>
69. Shah SN, Bachur RG, Simel DL, Neuman MI (2017) Does this child have pneumonia?: the rational clinical examination systematic review. *JAMA* 318(5):462–471. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.9039>
70. Ozdemir A, Dogruel D, Yilmaz O (2017) Oxygen saturation/minute heart rate index: simple lung function test for children. *Pediatr Int* 59(2):209–212. <https://doi.org/10.1111/ped.13081>
71. Crocker ME, Hossen S, Goodman D et al (2020) Effects of high altitude on respiratory rate and oxygen saturation reference values in healthy infants and children younger than 2 years in four countries: a cross-sectional study. *Lancet Glob Health* 8(3):e362–e373. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(19\)30543-1](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(19)30543-1)
72. Abramo TJ, Wiebe RA, Scott S, Goto CS, McIntire DD (1997) Noninvasive capnometry monitoring for respiratory status during pediatric seizures. *Crit Care Med* 25(7):1242–1246. <https://doi.org/10.1097/00003246-199707000-00029>
73. Langhan ML, Shabanova V, Li FY, Bernstein SL, Shapiro ED (2015) A randomized controlled trial of capnography during sedation in a pediatric emergency setting. *Am J Emerg Med* 33(1):25–30. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2014.09.050>
74. Moses JM, Alexander JL, Agus MS (2009) The correlation and level of agreement between end-tidal and blood gas pCO₂ in children with respiratory distress: a retrospective analysis. *BMC Pediatr* 9:20. <https://doi.org/10.1186/1471-2431-9-20>
75. Abramo TJ, Wiebe RA, Scott SM, Primm PA, McIntyre D, Mydler T (1996) Noninvasive capnometry in a pediatric population with respiratory emergencies. *Pediatr Emerg Care* 12(4):252–254. <https://doi.org/10.1097/00006565-199608000-00004>
76. Langhan ML, Emerson BL, Nett S et al (2018) End-tidal carbon dioxide use for tracheal intubation: analysis from the national emergency airway registry for children (NEAR4KIDS) registry. *Pediatr Crit Care Med* 19(2):98–105. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001372>
77. Phillips JS, Pangilinan LP, Mangalindan ER, Booze JL, Kallet RH (2017) A comparison of different techniques for interfacing capnography with adult and pediatric supplemental oxygen masks. *Respir Care* 62(1):78–85. <https://doi.org/10.4187/respcare.05111>
78. Saunders R, Struys M, Pollock RF, Mestek M, Lightdale JR (2017) Patient safety during procedural sedation using capnography monitoring: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open* 7(6):e13402. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-013402>
79. Langhan ML, Chen L, Marshall C, Santucci KA (2011) Detection of hypoventilation by capnography and its association with hypoxia in children undergoing sedation with ketamine. *Pediatr Emerg Care* 27(5):394–397. <https://doi.org/10.1097/PEC.0b013e318217b538>
80. Yang JT, Erickson SL, Killien EY, Mills B, Lele AV, Vavilala MS (2019) Agreement between arterial carbon dioxide levels with end-tidal carbon dioxide levels and associated factors in children hospitalized with traumatic brain injury. *JAMA Netw Open* 2(8):e199448. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2019.9448>
81. Scott HF, Brou L, Deakynne SJ, Kempe A, Fairclough DL, Bajaj L (2017) Association between early lactate levels and 30-day mortality in clinically suspected sepsis in children. *JAMA Pediatr* 171(3):249–255. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2016.3681>
82. Scott HF, Donoghue AJ, Gaiques DF, Marchese RF, Mistry RD (2012) The utility of early lactate testing in undifferentiated pediatric systemic inflammatory response syndrome. *Acad Emerg Med* 19(11):1276–1280. <https://doi.org/10.1111/acem.12014>
83. Miescier MJ, Lane RD, Sheng X, Larsen GY (2019) Association between initial emergency department lactate and use of vasoactive medication in children with septic shock. *Pediatr Emerg Care* 35(7):455–460. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000000981>
84. Yan HP, Lu XL, Qiu J, Liu PP, Zuo C, Zhu YM (2016) Value of blood lactate acid in evaluating disease severity and prognosis in children with sepsis. *Zhongguo Dang Dai Er Ke Za Zhi* 18(6):506–510 (www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27324538)
85. Scott HF, Brou L, Deakynne SJ, Fairclough DL, Kempe A, Bajaj L (2016) Lactate clearance and normalization and prolonged organ dysfunction in pediatric sepsis. *J Pediatr* 170:149–155.e1–4. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2015.11.071>
86. Britton PN, Eastwood K, Paterson B et al (2015) Consensus guidelines for the investigation and management of encephalitis in adults and children in Australia and New Zealand. *Intern Med* 45(5):563–576. <https://doi.org/10.1111/imj.12749>
87. Kneen R, Michael BD, Menson E et al (2012) Management of suspected viral encephalitis in children—Association of British Neurologists and British Paediatric Allergy, Immunology and Infection Group national guidelines. *J Infect* 64(5):449–477. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2011.11.013>
88. Thompson M, Van den Bruel A, Verbakel J et al (2012) Systematic review and validation of prediction rules for identifying children with serious infections in emergency departments and urgent-access primary care. *Health Technol Assess* 16(15):1–100. <https://doi.org/10.3310/hta16150>
89. Da Dalt L, Parri N, Amigoni A et al (2018) Italian guidelines on the assessment and management of pediatric head injury in the emergency department. *Ital J Pediatr* 44(1):7. <https://doi.org/10.1186/s13052-017-0442-0>
90. Medley TL, Miteff C, Andrews I et al (2019) Australian clinical consensus guideline: the diagnosis and acute management of childhood stroke. *Int J Stroke* 14(1):94–106. <https://doi.org/10.1177/1747493018799958>
91. Chou R, Totten AM, Carney N et al (2017) Predictive utility of the total Glasgow coma scale versus the motor component of the Glasgow coma scale for identification of patients with serious traumatic injuries. *Ann Emerg Med* 70(2):143–157.e6. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2016.11.032>
92. Nuttall AG, Paton KM, Kemp AM (2018) To what extent are GCS and AVPU equivalent to each other when assessing the level of consciousness of children with head injury? A cross-sectional study of UK hospital admissions. *BMJ Open* 8(11):e23216. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-023216>
93. Hoffmann F, Schmalhofer M, Lehner M, Zimatschek S, Grote V, Reiter K (2016) Comparison of the AVPU scale and the pediatric GCS in prehospital setting. *Prehosp Emerg Care* 20(4):493–498. <https://doi.org/10.3109/10903127.2016.1139216>
94. Van de Voorde P, Sabbe M, Rizopoulos D et al (2008) Assessing the level of consciousness in children: a plea for the Glasgow Coma Motor subscore. *Resuscitation* 76(2):175–179. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2007.07.007>
95. Borgialli DA, Mahajan P, Hoyle JD Jr et al (2016) Performance of the pediatric Glasgow coma scale score in the evaluation of children with blunt head trauma. *Acad Emerg Med* 23(8):878–884. <https://doi.org/10.1111/acem.13014>
96. DiBrito SR, Cerullo M, Goldstein SD, Ziegfeld S, Stewart D, Nasr IW (2018) Reliability of Glasgow Coma Score in pediatric trauma patients. *J Pediatr Surg* 53(9):1789–1794. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2017.12.027>
97. Ladner TR, Mahdi J, Gindville MC et al (2015) Pediatric acute stroke protocol activation in a children's hospital emergency department. *Stroke* 46(8):2328–2331. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.115.009961>
98. DeLaroché AM, Sivaswamy L, Farooqi A, Kannikeswaran N (2016) Pediatric stroke clinical pathway improves the time to diagnosis in an emergency department. *Pediatr Neurol* 65:39–44. <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2016.09.005>
99. Yock-Corralles A, Mackay MT, Mosley I, Maixner W, Babl FE (2011) Acute childhood arterial ischemic and hemorrhagic stroke in the emergency

- department. *Ann Emerg Med* 58(2):156–163. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2010.10.013>
100. Gumer LB, Del Vecchio M, Aronoff S (2014) Strokes in children: a systematic review. *Pediatr Emerg Care* 30(9):660–664. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000000218>
 101. Mackay MT, Monagle P, Babl FE (2016) Brain attacks and stroke in children. *J Paediatr Child Health* 52(2):158–163. <https://doi.org/10.1111/jpc.13086>
 102. Guedj R, Chappuy H, Titomanlio L et al (2015) Risk of bacterial meningitis in children 6 to 11 months of age with a first simple febrile seizure: a retrospective, cross-sectional, observational study. *Acad Emerg Med* 22(11):1290–1297. <https://doi.org/10.1111/acem.12798>
 103. Najaf-Zadeh A, Dubos F, Hue V, Pruvost I, Bennour A, Martinot A (2013) Risk of bacterial meningitis in young children with a first seizure in the context of fever: a systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE* 8(1):e55270. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055270>
 104. Joffe AR, Anton NR, Burkholder SC (2011) Reduction in hospital mortality over time in a hospital without a pediatric medical emergency team: limitations of before-and-after study designs. *Arch Pediatr Adolesc Med* 165(5):419–423. <https://doi.org/10.1001/archpediatrics.2011.47>
 105. Thomas-Jones E, Lloyd A, Roland D et al (2018) A prospective, mixed-methods, before and after study to identify the evidence base for the core components of an effective Paediatric Early Warning System and the development of an implementation package containing those core recommendations for use in the UK: Paediatric early warning system—utilisation and mortality avoidance—the PUMA study protocol. *BMC Pediatr* 18(1):244. <https://doi.org/10.1186/s12887-018-1210-z>
 106. Bortcosh W, Shaahinfar A, Sojar S, Klig JE (2018) New directions in point-of-care ultrasound at the crossroads of paediatric emergency and critical care. *Curr Opin Pediatr* 30(3):350–358. <https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000621>
 107. Singh Y, Tissot C, Fraga MV et al (2020) International evidence-based guidelines on Point of Care Ultrasound (POCUS) for critically ill neonates and children issued by the POCUS Working Group of the European Society of Paediatric and Neonatal Intensive Care (ESPNIC). *Crit Care* 24(1):65. <https://doi.org/10.1186/s13054-020-2787-9>
 108. Marin JR, Abo AM, Arroyo AC et al (2016) Pediatric emergency medicine point-of-care ultrasound: summary of the evidence. *Crit Ultrasound J* 8(1):16. <https://doi.org/10.1186/s13089-016-0049-5>
 109. Balk DS, Lee C, Schafer J et al (2018) Lung ultrasound compared to chest X-ray for diagnosis of pediatric pneumonia: a meta-analysis. *Pediatr Pulmonol* 53(8):1130–1139. <https://doi.org/10.1002/ppul.24020>
 110. Orso D, Ban A, Guglielmo N (2018) Lung ultrasound in diagnosing pneumonia in childhood: a systematic review and meta-analysis. *J Ultrasound* 21(3):183–195. <https://doi.org/10.1007/s40477-018-0306-5>
 111. Potter SK, Griksaitis MJ (2019) The role of point-of-care ultrasound in pediatric acute respiratory distress syndrome: emerging evidence for its use. *Ann Transl Med* 7(19):507. <https://doi.org/10.21037/atm.2019.07.76>
 112. Ozkaya AK, Baskan Vuralkan F, Ardic S (2019) Point-of-care lung ultrasound in children with non-cardiac respiratory distress or tachypnea. *Am J Emerg Med* 37(11):2102–2106. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2019.05.063>
 113. Lissaman C, Kanjanaupom P, Ong C, Tessaro M, Long E, O'Brien A (2019) Prospective observational study of point-of-care ultrasound for diagnosing pneumonia. *Arch Dis Child* 104(1):12–18. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2017-314496>
 114. Harel-Sterling M, Diallo M, Santhirakumaran S, Maxim T, Tessaro M (2019) Emergency department resource use in pediatric pneumonia: point-of-care lung ultrasonography versus chest radiography. *J Ultrasound Med* 38(2):407–414. <https://doi.org/10.1002/jum.14703>
 115. Jones BP, Tay ET, Elikashvili I et al (2016) Feasibility and safety of substituting lung ultrasonography for chest radiography when diagnosing pneumonia in children: a randomized controlled trial. *Chest* 150(1):131–138. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2016.02.643>
 116. Berce V, Tomazin M, Gorenjak M, Berce T, Lovrencic B (2019) The usefulness of lung ultrasound for the aetiological diagnosis of community-acquired pneumonia in children. *Sci Rep* 9(1):17957. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54499-y>
 117. Lovrenski J, Petrovic S, Balj-Barbir S, Jokic R, Vilotijevic-Dautovic G (2016) Stethoscope vs. ultrasound probe—which is more reliable in children with suspected pneumonia? *Acta Med Acad* 45(1):39–50. <https://doi.org/10.5644/ama2006-124.155>
 118. Gravel CA, Monuteaux MC, Levy JA, Miller AF, Vieira RL, Bachur RG (2020) Interrater reliability of pediatric point-of-care lung ultrasound findings. *Am J Emerg Med* 38(1):1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2019.01.047>
 119. Lin MJ, Gurley K, Hoffmann B (2016) Bedside ultrasound for tracheal tube verification in pediatric emergency department and ICU patients: a systematic review. *Pediatr Crit Care Med* 17(10):e469–e476. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000000907>
 120. Mori T, Nomura O, Hagiwara Y, Inoue N (2019) Diagnostic accuracy of a 3-point ultrasound protocol to detect esophageal or endobronchial mainstem intubation in a pediatric emergency department. *J Ultrasound Med* 38(11):2945–2954. <https://doi.org/10.1002/jum.15000>
 121. Klugman D, Berger JT (2016) Echocardiography and focused cardiac ultrasound. *Pediatr Crit Care Med* 17(8 Suppl 1):S222–S224. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000000815>
 122. Long E, Oakley E, Duke T, Babl FE, Paediatric Research in Emergency Departments International C (2017) Does respiratory variation in inferior vena cava diameter predict fluid responsiveness: a systematic review and meta-analysis. *Shock* 47(5):550–559. <https://doi.org/10.1097/SHK.0000000000000801>
 123. Orso D, Paoli I, Piani T, Cilenti FL, Cristiani L, Guglielmo N (2020) Accuracy of ultrasonographic measurements of inferior vena cava to determine fluid responsiveness: a systematic review and meta-analysis. *J Intensive Care Med* 35(4):354–363. <https://doi.org/10.1177/0885066617752308>
 124. Long E, O'Brien A, Duke T, Oakley E, Babl FE, Paediatric Research in Emergency Departments International C (2019) Effect of fluid bolus therapy on extravascular lung water measured by lung ultrasound in children with a presumptive clinical diagnosis of sepsis. *J Ultrasound Med* 38(6):1537–1544. <https://doi.org/10.1002/jum.14842>
 125. Ricci F, Aquilani R, Radico F et al (2015) Role and importance of ultrasound lung comets in acute cardiac care. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care* 4(2):103–112. <https://doi.org/10.1177/2048872614553166>
 126. Holmes JF, Gladman A, Chang CH (2007) Performance of abdominal ultrasonography in pediatric blunt trauma patients: a meta-analysis. *J Pediatr Surg* 42(9):1588–1594. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2007.04.023>
 127. Holmes JF, Kelley KM, Wootton-Gorges SL et al (2017) Effect of abdominal ultrasound on clinical care, outcomes, and resource use among children with blunt torso trauma: a randomized clinical trial. *JAMA* 317(22):2290–2296. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.6322>
 128. Schoneberg C, Tampier S, Hussmann B, Lendemans S, Waydhas C (2014) Diagnostic management in paediatric blunt abdominal trauma—a systematic review with metaanalysis. *Zentralbl Chir* 139(6):584–591. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1328645>
 129. Greif R, Bhanji F, Bigham BL et al (2020) Education, Implementation, and Teams: 2020 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations. *Resuscitation* 156:A188–A239. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.09.014>
 130. Weinstock P, Halamek LP (2008) Teamwork during resuscitation. *Pediatr Clin North Am* 55(4):1011–1024, xi–xii. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2008.04.001>
 131. Cheng A, Duff JP, Kessler D et al (2018) Optimizing CPR performance with CPR coaching for pediatric cardiac arrest: a randomized simulation-based clinical trial. *Resuscitation* 132:33–40. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.08.021>
 132. Sherman JM, Chang TP, Ziv N, Nager AL (2020) Barriers to effective teamwork relating to pediatric resuscitations: perceptions of pediatric emergency medicine staff. *Pediatr Emerg Care* 36(3):e146–e150. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000001275>
 133. Coolen E, Draaisma J, Loeffen J (2019) Measuring situation awareness and team effectiveness in pediatric acute care by using the situation global assessment technique. *Eur J Pediatr* 178(6):837–850. <https://doi.org/10.1007/s00431-019-03358-z>
 134. Lammers RL, Willoughby-Byrwa M, Fales WD (2014) Errors and error-producing conditions during a simulated, prehospital, pediatric cardiopulmonary arrest. *Simul Healthc* 9(3):174–183. <https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000113>
 135. Taylor KL, Ferri S, Yavorska T, Everett T, Parsuram C (2014) A description of communication patterns during CPR in ICU. *Resuscitation* 85(10):1342–1347. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.06.027>
 136. Grimsley EA, Cochrane NH, Keane RR, Sumner BD, Mullan PC, O'Connell KJ (2019) A pulse check on leadership and teamwork: an evaluation of the first 5 minutes of emergency department resuscitation during pediatric cardiopulmonary arrests. *Pediatr Emerg Care*. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000001923>
 137. ALSohime F, NurHussen A, Tamsah MH et al (2018) Factors that influence the self-reported confidence of pediatric residents as team leaders during cardiopulmonary resuscitation: a national survey. *Int J Pediatr Adolesc Med* 5(3):116–121. <https://doi.org/10.1016/j.ijpam.2018.07.001>
 138. Delaloye NJ, Tobler K, O'Neill T et al (2020) Errors during resuscitation: the impact of perceived authority on delivery of care. *J Patient Saf* 16(1):73–78. <https://doi.org/10.1097/PTS.0000000000000359>

139. Fernandez Castela E, Russo SG, Riethmuller M, Boos M (2013) Effects of team coordination during cardiopulmonary resuscitation: a systematic review of the literature. *J Crit Care* 28(4):504–521. <https://doi.org/10.1016/j.jcrrc.2013.01.005>
140. Riskin A, Bamberger P, Erez A et al (2019) Expressions of gratitude and medical team performance. *Pediatrics*. <https://doi.org/10.1542/peds.2018-2043>
141. Krage R, Zwaan L, Tjon Soei LL et al (2017) Relationship between non-technical skills and technical performance during cardiopulmonary resuscitation: does stress have an influence? *Emerg Med Clin North Am* 34(11):728–733. <https://doi.org/10.1136/emermed-2016-205754>
142. Johnson SL, Haerling KA, Yuwen W, Huynh V, Le C (2020) Incivility and clinical performance, teamwork, and emotions: a randomized controlled trial. *J Nurs Care Qual* 35(1):70–76. <https://doi.org/10.1097/NCQ.0000000000000407>
143. Maconochie IK, Aickin R, Hazinski MF et al (2020) Pediatric life support: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A120–A155. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.09.013>
144. Wells M, Goldstein LN, Bentley A, Basnett S, Monteith I (2017) The accuracy of the Broselow tape as a weight estimation tool and a drug-dosing guide—a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 121:9–33. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.09.026>
145. Wells M, Goldstein LN, Bentley A (2017) The accuracy of emergency weight estimation systems in children—a systematic review and meta-analysis. *Int J Emerg Med* 10(1):29. <https://doi.org/10.1186/s12245-017-0156-5>
146. Young KD, Korotzer NC (2016) Weight estimation methods in children: a systematic review. *Ann Emerg Med* 68(4):441–451.e10. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2016.02.043>
147. Matson KL, Horton ER, Capino AC (2017) Advocacy committee for the pediatric pharmacy advocacy G. medication dosage in overweight and obese children. *J Pediatr Pharmacol Ther* 22(1):81–83. <https://doi.org/10.5863/1551-6776-22.1.81>
148. Rodriguez JJ, Higueta-Gutierrez LF, Carrillo Garcia EA, Castano Betancur E, Londono LM, Restrepo Vargas S (2020) meta-analysis of failure of prehospital endotracheal intubation in pediatric patients. *Emerg Med Int*. <https://doi.org/10.1155/2020/7012508>
149. Harshman J, Roy M, Cartotto R (2019) Emergency care of the burn patient before the burn center: a systematic review and meta-analysis. *J Burn Care Res* 40(2):166–188. <https://doi.org/10.1093/jbcr/iry060>
150. Garner AA, Bennett N, Weatherall A, Lee A (2020) Success and complications by team composition for prehospital paediatric intubation: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care* 24(1):149. <https://doi.org/10.1186/s13054-020-02865-y>
151. Miller KA, Nagler J (2019) Advances in emergent airway management in pediatrics. *Emerg Med Clin North Am* 37(3):473–491. <https://doi.org/10.1016/j.emc.2019.03.006>
152. Stein ML, Park RS, Kovatsis PG (2020) Emerging trends, techniques, and equipment for airway management in pediatric patients. *Paediatr Anaesth* 30(3):269–279. <https://doi.org/10.1111/pan.13814>
153. Sun F, Wang Y, Ma S et al (2017) Clinical consensus of emergency airway management. *J Thorac Dis* 9(11):4599–4606. <https://doi.org/10.21037/jtd.2017.10.79>
154. Engelhardt T, Fiadjoe JE, Weiss M et al (2019) A framework for the management of the pediatric airway. *Paediatr Anaesth* 29(10):985–992. <https://doi.org/10.1111/pan.13716>
155. Scott A, Chua O, Mitchell W, Vlok R, Melhuish T, White L (2019) Apneic oxygenation for pediatric endotracheal intubation: a narrative review. *J Pediatr Intensive Care* 8(3):117–121. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1678552>
156. Youngquist S, Gausche-Hill M, Burbulys D (2007) Alternative airway devices for use in children requiring prehospital airway management: update and case discussion. *Pediatr Emerg Care* 23(4):250–258. <https://doi.org/10.1097/PEC.0b013e31803f7552> (quiz 259–61)
157. Else SDN, Kovatsis PG (2020) A narrative review of oxygenation during pediatric intubation and airway procedures. *Anesth Analg* 130(4):831–840. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000004403>
158. Long E, Barrett MJ, Peters C, Sabato S, Lockie F (2020) Emergency intubation of children outside of the operating room. *Paediatr Anaesth* 30(3):319–330. <https://doi.org/10.1111/pan.13784>
159. Fiadjoe J, Nishisaki A (2020) Normal and difficult airways in children: “What’s New?”—Current evidence. *Paediatr Anaesth* 30(3):257–263. <https://doi.org/10.1111/pan.13798>
160. Schreiber S, Ronfani L, Ghirardo S et al (2016) Nasal irrigation with saline solution significantly improves oxygen saturation in infants with bronchiolitis. *Acta Paediatr* 105(3):292–296. <https://doi.org/10.1111/apa.13282>
161. Sun J, Li XH, Zuo YX (2015) Comparison of incidence of hypoxia during modified rapid sequence induction and an alternative technique: a prospective randomized controlled trial. *Int J Clin Exp Med* 8(9):16231–16237 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26629138>)
162. Heschl S, Meadley B, Andrew E, Butt W, Bernard S, Smith K (2018) Efficacy of pre-hospital rapid sequence intubation in paediatric traumatic brain injury: a 9-year observational study. *Injury* 49(5):916–920. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2018.02.013>
163. Lawrason Hughes A, Murray N, Valdez TA, Kelly R, Kavanagh K (2014) Development of the Connecticut Airway Risk Evaluation (CARE) system to improve handoff communication in pediatric patients with tracheotomy. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg* 140(1):29–33. <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2013.5550>
164. Matetore A, Ramnarayan P, Jones A et al (2019) Adverse tracheal intubation-associated events in pediatric patients at nonspecialist centers: a multicenter prospective observational study. *Pediatr Crit Care Med* 20(6):518–526. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001923>
165. Hernandez MC, Antiel RM, Balakrishnan K, Zielinski MD, Klinkner DB (2018) Definitive airway management after prehospital supraglottic rescue airway in pediatric trauma. *J Pediatr Surg* 53(2):352–356. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2017.10.004>
166. Simons T, Soderlund T, Handolin L (2017) Radiological evaluation of tube depth and complications of prehospital endotracheal intubation in pediatric trauma: a descriptive study. *Eur J Trauma Emerg Surg* 43(6):797–804. <https://doi.org/10.1007/s00068-016-0758-2>
167. Hansen M, Meckler G, Lambert W et al (2016) Patient safety events in out-of-hospital paediatric airway management: a medical record review by the CSI-EMS. *BMJ Open* 6(11):e12259. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-012259>
168. Goto T, Gibo K, Hagiwara Y et al (2016) Factors associated with first-pass success in pediatric intubation in the emergency department. *West J Emerg Med* 17(2):129–134. <https://doi.org/10.5811/westjem.2016.1.28685>
169. Mortimer T, Burzynski J, Kesselman M, Vallance J, Hansen G (2016) Apneic oxygenation during rapid sequence intubation in critically ill children. *J Pediatr Intensive Care* 5(1):28–31. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1568149>
170. Fiadjoe JE, Nishisaki A, Jagannathan N et al (2016) Airway management complications in children with difficult tracheal intubation from the Pediatric Difficult Intubation (PeDI) registry: a prospective cohort analysis. *Lancet Respir Med* 4(1):37–48. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(15\)00508-1](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(15)00508-1)
171. Li S, Rehder KJ, Giuliano JS Jr. et al (2016) Development of a quality improvement bundle to reduce tracheal intubation-associated events in pediatric ICUs. *Am J Med Qual* 31(1):47–55. <https://doi.org/10.1177/1062860614547259>
172. Johnson M, Miskovic A, Ray S et al (2019) The nasopharyngeal airway: estimation of the nares-to-mandible and nares-to-tragus distance in young children to assess current clinical practice. *Resuscitation* 140:50–54. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.04.039>
173. Garcia-Marcinkiewicz AG, Adams HD, Gurnaney H et al (2020) A retrospective analysis of neuromuscular blocking drug use and ventilation technique on complications in the pediatric difficult intubation registry using propensity score matching. *Anesth Analg* 131(2):469–479. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000004393>
174. Ramgopal S, Button SE, Owusu-Ansah S et al (2020) Success of pediatric intubations performed by a critical care transport service. *Prehosp Emerg Care* 24(5):683–692. <https://doi.org/10.1080/10903127.2019.1699212>
175. Hansen M, Lambert W, Guise JM, Warden CR, Mann NC, Wang H (2015) Out-of-hospital pediatric airway management in the United States. *Resuscitation* 90:104–110. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.02.018>
176. Conway JA, Kharayat P, Sanders RC Jr. et al (2020) Ketamine use for tracheal intubation in critically ill children is associated with a lower occurrence of adverse hemodynamic events. *Crit Care Med* 48(6):e489–e497. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000004314>
177. Galvez JA, Acquah S, Ahumada L et al (2019) Hypoxemia, bradycardia, and multiple laryngoscopy attempts during anesthetic induction in infants: a single-center, retrospective study. *Anesthesiology* 131(4):830–839. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002847>
178. Overmann KM, Boyd SD, Zhang Y, Kerrey BT (2019) Apneic oxygenation to prevent oxyhemoglobin desaturation during rapid sequence intubation in a pediatric emergency department. *Am J Emerg Med* 37(8):1416–1421. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2018.10.030>
179. Crulli B, Loron G, Nishisaki A, Harrington K, Essouri S, Emeriaud G (2016) Safety of paediatric tracheal intubation after non-invasive ventilation failure. *Pediatr Pulmonol* 51(2):165–172. <https://doi.org/10.1002/ppul.23223>
180. Neubrand TL, Alletag M, Woods J, Mendenhall M, Leonard J, Schmidt SK (2019) Breathing easier: decreasing tracheal intubation-associated adverse events in the pediatric ED and urgent care. *Pediatr*

- Qual Saf 4(6):e230. <https://doi.org/10.1097/pq9.0000000000000230>
181. Mokhateb-Rafii T, Bakar A, Gangadharan S et al (2019) Hemodynamic impact of oxygen desaturation during tracheal intubation among critically ill children with cyanotic and Noncyanotic heart disease. *Pediatr Crit Care Med* 20(1):19–26. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001766>
 182. Parker MM, Nuthall G, Brown C 3rd et al (2017) Relationship between adverse tracheal intubation associated events and PICU outcomes. *Pediatr Crit Care Med* 18(4):310–318. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001074>
 183. van Sambeek SJ, van Kuijk SMJ, Kramer BW, Vermeulen PM, Vos GD (2019) Endotracheal intubation skills of pediatricians versus anesthesiologists in neonates and children. *Eur J Pediatr* 178(8):1219–1227. <https://doi.org/10.1007/s00431-019-03395-8>
 184. Li S, Hsieh TC, Rehder KJ et al (2018) Frequency of desaturation and association with hemodynamic adverse events during tracheal intubations in PICUs. *Pediatr Crit Care Med* 19(1):e41–e50. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001384>
 185. Daigle CH, Fiadjoe JE, Laverriere EK et al (2020) Difficult bag-mask ventilation in critically ill children is independently associated with adverse events. *Crit Care Med* 48(9):e744–e752. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000004425>
 186. Emami P, Zorlich P, Fritzsche FS et al (2019) Observed versus expected mortality in pediatric patients intubated in the field with Glasgow Coma Scale scores < 9. *Eur J Trauma Emerg Surg* 45(5):769–776. <https://doi.org/10.1007/s00068-018-01065-2>
 187. Vukovic AA, Hanson HR, Murphy SL, Mercurio D, Sheedy CA, Arnold DH (2019) Apneic oxygenation reduces hypoxemia during endotracheal intubation in the pediatric emergency department. *Am J Emerg Med* 37(1):27–32. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2018.04.039>
 188. Lee JH, Nuthall G, Ikeyama T et al (2019) Tracheal intubation practice and safety across international PICUs: a report from national emergency airway registry for children. *Pediatr Crit Care Med* 20(1):1–8. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001782>
 189. Algjie CM, Mahar RK, Tan HB, Wilson G, Mahar PD, Wasiak J (2015) Effectiveness and risks of cricoid pressure during rapid sequence induction for endotracheal intubation. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011656.pub2>
 190. Kojima T, Harwayne-Gidansky I, Shenoi AN et al (2018) Cricoid pressure during induction for tracheal intubation in critically ill children: a report from national emergency airway registry for children. *Pediatr Crit Care Med* 19(6):528–537. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001531>
 191. Kojima T, Laverriere EK, Owen EB et al (2018) Clinical impact of external laryngeal manipulation during laryngoscopy on tracheal intubation success in critically ill children. *Pediatr Crit Care Med* 19(2):106–114. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001373>
 192. Sun Y, Lu Y, Huang Y, Jiang H (2014) Pediatric video laryngoscope versus direct laryngoscope: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Paediatr Anaesth* 24(10):1056–1065. <https://doi.org/10.1111/pan.12458>
 193. Lingappan K, Arnold JL, Fernandes CJ, Pammi M (2018) Videolaryngoscopy versus direct laryngoscopy for tracheal intubation in neonates. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009975.pub3>
 194. Abdelgadir IS, Phillips RS, Singh D, Moncreiff MP, Lumsden JL (2017) Videolaryngoscopy versus direct laryngoscopy for tracheal intubation in children (excluding neonates). *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011413.pub2>
 195. Sola C, Saour AC, Macq C, Bringuier S, Raux O, Dadure C (2017) Children with challenging airways: what about GlideScope(R) video-laryngoscopy? *Anaesth Crit Care Pain Med* 36(5):267–271. <https://doi.org/10.1016/j.accpm.2016.10.005>
 196. Grunwell JR, Kamat PP, Miksa M et al (2017) Trend and outcomes of video laryngoscopy use across PICUs. *Pediatr Crit Care Med* 18(8):741–749. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001175>
 197. Park R, Peyton JM, Fiadjoe JE et al (2017) The efficacy of GlideScope(R) videolaryngoscopy compared with direct laryngoscopy in children who are difficult to intubate: an analysis from the paediatric difficult intubation registry. *Br J Anaesth* 119(5):984–992. <https://doi.org/10.1093/bja/aex344>
 198. Kaji AH, Shover C, Lee J et al (2020) Video versus direct and augmented direct laryngoscopy in pediatric tracheal intubations. *Acad Emerg Med* 27(5):394–402. <https://doi.org/10.1111/acem.13869>
 199. Gupta A, Kamal G, Gupta A, Sehgal N, Bhatla S, Kumar R (2018) Comparative evaluation of CMAC and Truview picture capture device for endotracheal intubation in neonates and infants undergoing elective surgeries: a prospective randomized control trial. *Paediatr Anaesth* 28(12):1148–1153. <https://doi.org/10.1111/pan.13524>
 200. Sinha R, Ray BR, Sharma A et al (2019) Comparison of the C-MAC video laryngoscope size 2 macintosh blade with size 2 C-MAC D-blade for laryngoscopy and endotracheal intubation in children with simulated cervical spine injury: a prospective randomized crossover study. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol* 35(4):509–514. https://doi.org/10.4103/joacp.JOACP_106_18
 201. Vadi MG, Roddy KJ, Ghazal EA, Um M, Neiheisel AJ, Applegate RL 2nd (2017) Comparison of the glidescope cobalt(R) and Storz DCI(R) video laryngoscopes in children younger than 2 years of age during manual in-line stabilization: a randomized trainee evaluation study. *Pediatr Emerg Care* 33(7):467–473. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000000607>
 202. Kim JE, Kwak HJ, Jung WS, Chang MY, Lee SY, Kim JY (2018) A comparison between McGrath MAC videolaryngoscopy and Macintosh laryngoscopy in children. *Acta Anaesthesiol Scand* 62(3):312–318. <https://doi.org/10.1111/aas.13043>
 203. Jones P (2016) The therapeutic value of atropine for critical care intubation. *Arch Dis Child* 101(1):77–80. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2014-308137>
 204. Quintard H, l'Her E, Pottecher J et al (2019) Experts' guidelines of intubation and extubation of the ICU patient of French Society of Anaesthesia and Intensive Care Medicine (SFAR) and French-speaking Intensive Care Society (SRLF) : In collaboration with the pediatric Association of French-speaking Anaesthesiologists and Intensivists (ADARPEF), French-speaking Group of Intensive Care and Paediatric emergencies (GFRUP) and Intensive Care physiotherapy society (SKR). *Ann Intensive Care* 9(1):13. <https://doi.org/10.1186/s13613-019-0483-1>
 205. Jones P, Peters MJ, Pinto da Costa N et al (2013) Atropine for critical care intubation in a cohort of 264 children and reduced mortality unrelated to effects on bradycardia. *Plos One* 8(2):e57478. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057478>
 206. Jones P, Ovenden N, Dauger S, Peters MJ (2014) Estimating 'lost heart beats' rather than reductions in heart rate during the intubation of critically-ill children. *Plos One* 9(2):e86766. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086766>
 207. Gill H, Thoresen M, Smit E et al (2014) Sedation management during therapeutic hypothermia for neonatal encephalopathy: atropine premedication for endotracheal intubation causes a prolonged increase in heart rate. *Resuscitation* 85(10):1394–1398. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.07.002>
 208. Litman RS, Weissend EE, Shibata D, Westesson PL (2003) Developmental changes of laryngeal dimensions in unparalyzed, sedated children. *Anesthesiology* 98(1):41–45. <https://doi.org/10.1097/00000542-200301000-00010>
 209. Kneyber MCJ, de Luca D, Calderini E et al (2017) Recommendations for mechanical ventilation of critically ill children from the Paediatric Mechanical Ventilation Consensus Conference (PEMVECC). *Intensive Care Med* 43(12):1764–1780. <https://doi.org/10.1007/s00134-017-4920-z>
 210. Tosif S, Duke T (2017) Evidence to support oxygen guidelines for children with emergency signs in developing countries: a systematic review and physiological and mechanistic analysis. *J Trop Pediatr* 63(5):402–413. <https://doi.org/10.1093/tropej/fmw100>
 211. Rojas-Reyes MX, Granados Rugeles C, Charry-Anzola LP (2014) Oxygen therapy for lower respiratory tract infections in children between 3 months and 15 years of age. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005975.pub3>
 212. Grandville B, Petak F, Albu G, Bayat S, Pichon I, Habre W (2019) High inspired oxygen fraction impairs lung volume and ventilation heterogeneity in healthy children: a double-blind randomised controlled trial. *Br J Anaesth* 122(5):682–691. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2019.01.036>
 213. Patel B, Khine H, Shah A, Sung D, Medar S, Singer L (2019) Randomised clinical trial of high concentration versus titrated oxygen use in pediatric asthma. *Pediatr Pulmonol* 54(7):970–976. <https://doi.org/10.1002/ppul.24329>
 214. Peters MJ, Jones GAL, Wiley D et al (2018) Conservative versus liberal oxygenation targets in critically ill children: the randomised multiple-centre pilot Oxy-PICU trial. *Intensive Care Med* 44(8):1240–1248. <https://doi.org/10.1007/s00134-018-5232-7>
 215. von der Weid L, Gehri M, Camara B, Thiongane A, Pascual A, Pauchard JY (2018) Clinical signs of hypoxaemia in children aged 2 months to 5 years with acute respiratory distress in Switzerland and Senegal. *Paediatr Int Child Health* 38(2):113–120. <https://doi.org/10.1080/20469047.2017.1390828>
 216. Jones GAL, Ramnarayan P, Raman S et al (2017) Protocol for a randomised pilot multiple centre trial of conservative versus liberal oxygenation targets in critically ill children (Oxy-PICU). *BMJ Open* 7(12):e19253. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-019253>
 217. Maitland K, Kiguli S, Opoka RO et al (2017) Children's Oxygen Administration Strategies Trial (COAST): a randomised controlled trial of high flow versus oxygen versus control in African children with severe pneumonia.

- Wellcome Open Res 2:100. <https://doi.org/10.12688/wellcomeopenres.12747.2>
218. Ramnarayan P, Lister P, Dominguez T et al (2018) FIRST-line support for Assistance in Breathing in Children (FIRST-ABC): a multicentre pilot randomised controlled trial of high-flow nasal cannula therapy versus continuous positive airway pressure in paediatric critical care. *Crit Care* 22(1):144. <https://doi.org/10.1186/s13054-018-2080-3>
 219. Durand P, Guiddir T, Kyheng C et al (2020) A randomised trial of high-flow nasal cannula in infants with moderate bronchiolitis. *Eur Respir J*. <https://doi.org/10.1183/13993003.01926-2019>
 220. Williams AM, Abramo TJ, Shah MV et al (2011) Safety and clinical findings of BiPAP utilization in children 20 kg or less for asthma exacerbations. *Intensive Care Med* 37(8):1338–1343. <https://doi.org/10.1007/s00134-011-2238-9>
 221. Essouri S, Laurent M, Chevret L et al (2014) Improved clinical and economic outcomes in severe bronchiolitis with pre-emptive nCPAP ventilatory strategy. *Intensive Care Med* 40(1):84–91. <https://doi.org/10.1007/s00134-013-3129-z>
 222. Abadeso C, Nunes P, Silvestre C, Matias E, Loureiro H, Almeida H (2012) Non-invasive ventilation in acute respiratory failure in children. *Pediatr Rep* 4(2):e16. <https://doi.org/10.4081/pr.2012.e16>
 223. Vitaliti G, Vitaliti MC, Finocchiaro MC et al (2017) Randomized comparison of helmet CPAP versus high-flow nasal cannula oxygen in pediatric respiratory distress. *Respir Care* 62(8):1036–1042. <https://doi.org/10.4187/respcare.05384>
 224. Korang SK, Feinberg J, Wetterslev J, Jakobsen JC (2016) Non-invasive positive pressure ventilation for acute asthma in children. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012067.pub2>
 225. Combret Y, Prieur G, Roux PLE, Medrinal C (2017) Non-invasive ventilation improves respiratory distress in children with acute viral bronchiolitis: a systematic review. *Minerva Anestesiol* 83(6):624–637. <https://doi.org/10.23736/S0375-9393.17.11708-6>
 226. Ballesterio Y, De Pedro J, Portillo N, Martinez-Mugica O, Arana-Arri E, Benito J (2018) Pilot clinical trial of high-flow oxygen therapy in children with asthma in the emergency service. *J Pediatr* 194:204–210e3. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2017.10.075>
 227. Luo J, Duke T, Chisti MJ, Kepreotes E, Kalinowski V, Li J (2019) Efficacy of high-flow nasal cannula vs standard oxygen therapy or nasal continuous positive airway pressure in children with respiratory distress: a meta-analysis. *J Pediatr* 215:199–208e8. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2019.07.059>
 228. O'Brien S, Craig S, Babl FE et al (2019) 'Rational use of high-flow therapy in infants with bronchiolitis. What do the latest trials tell us?' A Paediatric Research in Emergency Departments International Collaborative perspective. *J Paediatr Child Health* 55(7):746–752. <https://doi.org/10.1111/jpc.14496>
 229. Mikalsen IB, Davis P, Oymar K (2016) High flow nasal cannula in children: a literature review. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 24:93. <https://doi.org/10.1186/s13049-016-0278-4>
 230. Vahlkvist S, Jurgensen L, la Cour A, Markoew S, Petersen TH, Kofoed PE (2020) High flow nasal cannula and continuous positive airway pressure therapy in treatment of viral bronchiolitis: a randomized clinical trial. *Eur J Pediatr* 179(3):513–518. <https://doi.org/10.1007/s00431-019-03533-2>
 231. Gc VS, Franklin D, Whitty JA et al (2020) First-line oxygen therapy with high-flow in bronchiolitis is not cost saving for the health service. *Arch Dis Child* 105(10):975–980. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2019-318427>
 232. Figueroa L, Laffaye F (2017) Early use of continuous positive airway pressure in the treatment of moderate to severe acute lower respiratory tract infections among patients younger than 2 years old. *Arch Argent Pediatr* 115(3):277–281. <https://doi.org/10.5546/aap.2017.eng.277>
 233. Chisti MJ, Salam MA, Smith JH et al (2015) Bubble continuous positive airway pressure for children with severe pneumonia and hypoxaemia in Bangladesh: an open, randomised controlled trial. *Lancet* 386(9998):1057–1065. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60249-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60249-5)
 234. Mandelzweig K, Leligdowicz A, Murthy S, Lalitha R, Fowler RA, Adhikari NKJ (2018) Non-invasive ventilation in children and adults in low- and low-middle income countries: A systematic review and meta-analysis. *J Crit Care* 47:310–319. <https://doi.org/10.1016/j.jccr.2018.01.007>
 235. Balfour-Lynn RE, Marsh G, Gorayi D, Elahi E, LaRovere J (2014) Non-invasive ventilation for children with acute respiratory failure in the developing world: literature review and an implementation example. *Paediatr Respir Rev* 15(2):181–187. <https://doi.org/10.1016/j.prrv.2014.02.002>
 236. Richards M, Le Roux D, Cooke L, Argent A (2020) The influence of high flow nasal cannulae on the outcomes of severe respiratory disease in children admitted to a regional hospital in south africa. *J Trop Pediatr* 66(6):612–620. <https://doi.org/10.1093/tropej/fmaa024>
 237. Yurtseven A, Turan C, Erseven E, Saz EU (2019) Comparison of heated humidified high-flow nasal cannula flow rates (1-L.kg.min(-1) vs 2-L.kg.min(-1)) in the management of acute bronchiolitis. *Pediatr Pulmonol* 54(6):894–900. <https://doi.org/10.1002/ppul.24318>
 238. Kobayashi H, Takimoto T, Kitaoka H, Kijima T (2020) Aerosol spread with use of high-flow nasal cannulae: a computational fluid dynamics analysis. *J Hosp Infect* 106(1):204–205. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.06.010>
 239. Kochanek PM, Tasker RC, Bell MJ et al (2019) Management of pediatric severe traumatic brain injury: 2019 consensus and guidelines-based algorithm for first and second tier therapies. *Pediatr Crit Care Med* 20(3):269–279. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001737>
 240. Kim GJ, Newth CJL, Khemani RG, Wong SL, Coates AL, Ross PA (2018) Does size matter when calculating the "correct" tidal volume for pediatric mechanical ventilation?: a hypothesis based on FVC. *Chest* 154(1):77–83. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.04.015>
 241. Bilharz JR, Wheeler CR, Walsh BK, Smallwood CD (2018) A comparative analysis of ideal body weight methods for pediatric mechanical ventilation. *Respir Care* 63(9):1079–1084. <https://doi.org/10.4187/respcare.06021>
 242. Lee JH, Jung H, Jang YE et al (2019) Manual vs pressure-controlled facemask ventilation during the induction of general anesthesia in children: a prospective randomized controlled study. *Paediatr Anaesth* 29(4):331–337. <https://doi.org/10.1111/pan.13594>
 243. Mumma JM, Durso FT, Dyes M, Dela CR, Fox VP, Hoey M (2018) Bag valve mask ventilation as a perceptual-cognitive skill. *Hum Factors* 60(2):212–221. <https://doi.org/10.1177/0018720817744729>
 244. Kroll M, Das J, Siegler J (2019) Can altering grip technique and bag size optimize volume delivered with bag-valve-mask by emergency medical service providers? *Prehosp Emerg Care* 23(2):210–214. <https://doi.org/10.1080/10903127.2018.1489020>
 245. Becker HJ, Langhan ML (2020) Can providers use clinical skills to assess the adequacy of ventilation in children during bag-valve mask ventilation? *Pediatr Emerg Care* 36(12):e695–e699. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000001314>
 246. Williams DC, Cheifetz IM (2019) Emerging approaches in pediatric mechanical ventilation. *Expert Rev Respir Med* 13(4):327–336. <https://doi.org/10.1080/17476348.2019.1586536>
 247. Smallwood CD, Davis MD (2019) Year in review 2018: pediatric mechanical ventilation. *Respir Care* 64(7):855–863. <https://doi.org/10.4187/respcare.07029>
 248. Conti G, Piastra M (2016) Mechanical ventilation for children. *Curr Opin Crit Care* 22(1):60–66. <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000271>
 249. Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference G (2015) Pediatric acute respiratory distress syndrome: consensus recommendations from the Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference. *Pediatr Crit Care Med* 16(5):428–439. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000000350>
 250. Pearsall MF, Feldman JM (2014) When does apparatus dead space matter for the pediatric patient? *Anesth Analg* 118(4):776–780. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000000148>
 251. Siegler J, Kroll M, Wojcik S, Moy HP (2017) Can EMS providers provide appropriate tidal volumes in a simulated adult-sized patient with a pediatric-sized bag-valve-mask? *Prehosp Emerg Care* 21(1):74–78. <https://doi.org/10.1080/10903127.2016.1227003>
 252. van Vonderen JJ, Witlox RS, Kraaijs, te Pas AB (2014) Two-minute training for improving neonatal bag and mask ventilation. *Plos One* 9(10):e109049. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109049>
 253. Khoury A, Hugonnot S, Cossu J et al (2014) From mouth-to-mouth to bag-valve-mask ventilation: evolution and characteristics of actual devices—a review of the literature. *Biomed Res Int* 2014:762053. <https://doi.org/10.1155/2014/762053>
 254. Balamuth F, Kittick M, McBride P et al (2019) Pragmatic pediatric trial of balanced versus normal saline fluid in sepsis: the PROMPt BOLUS randomized controlled trial pilot feasibility study. *Acad Emerg Med* 26(12):1346–1356. <https://doi.org/10.1111/acem.13815>
 255. Parker MJ, Thabane L, Fox-Robichaud A et al (2016) A trial to determine whether septic shock-reversal is quicker in pediatric patients randomized to an early goal-directed fluid-sparing strategy versus usual care (SQUEEZE): study protocol for a pilot randomized controlled trial. *Trials* 17(1):556. <https://doi.org/10.1186/s13063-016-1689-2>
 256. Inwald DP, Butt W, Tasker RC. (2015) Fluid resuscitation of shock in children: what, whence and whether? *Intensive Care Med* 41(8):1457–1459. <https://doi.org/10.1007/s00134-015-3905-z>
 257. Inwald DP, Canter R, Woolfall K et al (2019) Restricted fluid bolus volume in early septic shock: results of the Fluids in Shock pilot trial. *Arch Dis Child* 104(5):426–431. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2018-314924>
 258. Gaensbauer JT, Birkholz M, Smit MA, Garcia R, Todd JK (2018) Epidemiology and clinical relevance of toxic shock syndrome in US children. *Pediatr*

- Infect Dis J 37(12):1223–1226. <https://doi.org/10.1097/INF.0000000000002002>
259. Weiss SL, Fitzgerald JC, Pappachan J et al (2015) Global epidemiology of pediatric severe sepsis: the sepsis prevalence, outcomes, and therapies study. *Am J Respir Crit Care Med* 191(10):1147–1157. <https://doi.org/10.1164/rccm.201412-2323OC>
260. Maitland K, Kiguli S, Opoka RO et al (2011) Mortality after fluid bolus in African children with severe infection. *N Engl J Med* 364(26):2483–2495. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1101549>
261. Tripathi A, Kabra SK, Sachdev HP, Lodha R (2015) Mortality and other outcomes in relation to first hour fluid resuscitation rate: a systematic review. *Indian Pediatr* 52(11):965–972. <https://doi.org/10.1007/s13312-015-0754-3>
262. Levin M, Cunningham AJ, Wilson C et al (2019) Effects of saline or albumin fluid bolus in resuscitation: evidence from re-analysis of the FEAST trial. *Lancet Respir Med* 7(7):581–593. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(19\)30114-6](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(19)30114-6)
263. Long E, Babl FE, Oakley E, Sheridan B, Duke T, Pediatric Research in Emergency Departments International C (2018) Cardiac index changes with fluid bolus therapy in children with sepsis—an observational study. *Pediatr Crit Care Med* 19(6):513–518. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001534>
264. Chang R, Holcomb JB (2016) Choice of fluid therapy in the initial management of sepsis, severe sepsis, and septic shock. *Shock* 46(1):17–26. <https://doi.org/10.1097/SHK.0000000000000577>
265. Lewis SR, Pritchard MW, Evans DJ et al (2018) Colloids versus crystalloids for fluid resuscitation in critically ill people. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD000567.pub7>
266. Medeiros DN, Ferranti JF, Delgado AF, de Carvalho WB (2015) Colloids for the initial management of severe sepsis and septic shock in pediatric patients: a systematic review. *Pediatr Emerg Care* 31(11):e11–6. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000000601>
267. Emrath ET, Fortenberry JD, Travers C, McCracken CE, Hebbbar KB (2017) Resuscitation with balanced fluids is associated with improved survival in pediatric severe sepsis. *Crit Care Med* 45(7):1177–1183. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000002365>
268. Weiss SL, Keele L, Balamuth F et al (2017) Crystalloid fluid choice and clinical outcomes in pediatric sepsis: a matched retrospective cohort study. *J Pediatr* 182:304–310.e10. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2016.11.075>
269. Antequera Martin AM, Barea Mendoza JA, Muriel A et al (2019) Buffered solutions versus 0.9% saline for resuscitation in critically ill adults and children. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012247.pub2>
270. Ranjit S, Ramanathan G, Ramakrishnan B, Kissonon N (2018) Targeted interventions in critically ill children with severe dengue. *Indian J Crit Care Med* 22(3):154–161. https://doi.org/10.4103/ijccm.UCCM_413_17
271. Singh M, Sankar J, Kumar A, Kumar UV, Lodha R, Kabra SK (2019) Predictors of mortality in children admitted to the pediatric intensive care unit with acute gastroenteritis with severe dehydration. *Indian J Pediatr* 86(12):1142–1145. <https://doi.org/10.1007/s12098-019-03094-0>
272. Qadori M, Flem E, Bekkevold T et al (2018) Hypoglycaemia was common in acute gastroenteritis in a prospective hospital-based study, but electrolyte imbalances were not. *Acta Paediatr* 107(8):1455–1460. <https://doi.org/10.1111/apa.14318>
273. Vonasek BJ, Chiume M, Crouse HL et al (2020) Risk factors for mortality and management of children with complicated severe acute malnutrition at a tertiary referral hospital in Malawi. *Paediatr Int Child Health* 40(3):148–157. <https://doi.org/10.1080/20469047.2020.1747003>
274. Alam NH, Ashraf H, Ahmed T, Jahan N, Gyr N (2020) Randomised trial showed that rapid rehydration of severely malnourished children with dehydrating diarrhoea was as safe and effective as slow rehydration. *Acta Paediatr* 109(7):1473–1484. <https://doi.org/10.1111/apa.15134>
275. Houston KA, Gibb J, Olupot-Olupot P et al (2019) Gastroenteritis aggressive versus slow treatment for rehydration (GASTRO): a phase II rehydration trial for severe dehydration: WHO plan C versus slow rehydration. *BMC Med* 17(1):122. <https://doi.org/10.1186/s12916-019-1356-z>
276. Iro MA, Sell T, Brown N, Maitland K (2018) Rapid intravenous rehydration of children with acute gastroenteritis and dehydration: a systematic review and meta-analysis. *BMC Pediatr* 18(1):44. <https://doi.org/10.1186/s12887-018-1006-1>
277. Polites SF, Moody S, Williams RF et al (2020) Timing and volume of crystalloid and blood products in pediatric trauma: An Eastern Association for the Surgery of Trauma multicenter prospective observational study. *J Trauma Acute Care Surg* 89(1):36–42. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002702>
278. Schauer SG, April MD, Becker TE, Cap AP, Borgman MA (2020) High crystalloid volumes negate benefit of hemostatic resuscitation in pediatric wartime trauma casualties. *J Trauma Acute Care Surg* 89(25 Suppl 2):S185–S191. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002590>
279. Elkbuli A, Zajd S, Ehrhardt JD Jr., McKenney M, Boneva D (2020) Aggressive crystalloid resuscitation outcomes in low-severity pediatric trauma. *J Surg Res* 247:350–355. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2019.10.009>
280. Polites SF, Nygaard RM, Reddy PN et al (2018) Multicenter study of crystalloid boluses and transfusion in pediatric trauma—When to go to blood? *J Trauma Acute Care Surg* 85(1):108–112. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001897>
281. Magoteaux SR, Notrica DM, Langlais CS et al (2017) Hypotension and the need for transfusion in pediatric blunt spleen and liver injury: An ATOMAC+ prospective study. *J Pediatr Surg* 52(6):979–983. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2017.03.021>
282. Nadler R, Mozer-Glassberg Y, Gaines B, Glassberg E, Chen J (2019) The Israel Defense Forces experience with freeze-dried plasma for the resuscitation of traumatized pediatric patients. *J Trauma Acute Care Surg* 87(6):1315–1320. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002477>
283. Haltmeier T, Benjamin E, Gruen JP et al (2018) Decreased mortality in patients with isolated severe blunt traumatic brain injury receiving higher plasma to packed red blood cells transfusion ratios. *Injury* 49(1):62–66. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.07.035>
284. Long B, April MD (2018) Does administration of hypertonic solutions improve mortality in hemorrhagic shock compared with isotonic solutions? *Ann Emerg Med* 71(4):529–531. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2017.11.025>
285. Phillips R, Acker SN, Shahi N et al (2020) The ABC-D score improves the sensitivity in predicting need for massive transfusion in pediatric trauma patients. *J Pediatr Surg* 55(2):331–334. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2019.10.008>
286. Figueiredo S, Taconet C, Harrois A et al (2018) How useful are hemoglobin concentration and its variations to predict significant hemorrhage in the early phase of trauma? A multicentric cohort study. *Ann Intensive Care* 8(1):76. <https://doi.org/10.1186/s13613-018-0420-8>
287. Brinck T, Handolin L, Lefering R (2016) The effect of evolving fluid resuscitation on the outcome of severely injured patients: an 8-year experience at a tertiary trauma center. *Scand J Surg* 105(2):109–116. <https://doi.org/10.1177/1457496915586650>
288. Wang CH, Hsieh WH, Chou HC et al (2014) Liberal versus restricted fluid resuscitation strategies in trauma patients: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials and observational studies. *Crit Care Med* 42(4):954–961. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000505>
289. Albreiki M, Voegeli D (2018) Permissive hypotensive resuscitation in adult patients with traumatic haemorrhagic shock: a systematic review. *Eur J Trauma Emerg Surg* 44(2):191–202. <https://doi.org/10.1007/s00068-017-0862-y>
290. Tran A, Yates J, Lau A, Lampron J, Matar M (2018) Permissive hypotension versus conventional resuscitation strategies in adult trauma patients with hemorrhagic shock: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Trauma Acute Care Surg* 84(5):802–808. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001816>
291. Owattanapanich N, Chittawatanarat K, Benyakorn T, Sirikun J (2018) Risks and benefits of hypotensive resuscitation in patients with traumatic hemorrhagic shock: a meta-analysis. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 26(1):107. <https://doi.org/10.1186/s13049-018-0572-4>
292. Dittrich MHM, Hosni ND, de Carvalho WB (2020) Association between fluid creep and infection in burned children: a cohort study. *Burns* 46(5):1036–1042. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2020.02.003>
293. Granfeldt A, Avis SR, Lind PC et al (2020) Intravenous vs. intraosseous administration of drugs during cardiac arrest: a systematic review. *Resuscitation* 149:150–157. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.02.025>
294. Jousi M, Laukkanen-Nevala P, Nurmi J (2019) Analysing blood from intraosseous access: a systematic review. *Eur J Emerg Med* 26(2):77–85. <https://doi.org/10.1097/MEJ.0000000000000569>
295. Ohchi F, Komasa N, Mihara R, Minami T (2015) Comparison of mechanical and manual bone marrow puncture needle for intraosseous access; a randomized simulation trial. *SpringerPlus* 4:211. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-0982-y>
296. El-Nawawy AA, Omar OM, Khalil M (2018) Intraosseous versus intravenous access in pediatric septic shock patients admitted to alexandria university pediatric intensive care unit. *J Trop Pediatr* 64(2):132–140. <https://doi.org/10.1093/tropej/fmx061>
297. Maxien D, Wirth S, Peschel O et al (2019) Intraosseous needles in pediatric cadavers: rate of malposition. *Resuscitation* 145:1–7. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.09.028>
298. Al-Shibli A, Lim R, Poonai N, Istasy V, Lin K, Kilgar J (2020) Determination of the pretilial soft tissue thickness in children: are Intraosseous infusion needles long enough? *Pediatr Emerg Care* 36(1):39–42. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000002019>

299. Mori T, Takei H, Sasaoka Y, Nomura O, Ihara T (2020) Semi-automatic intraosseous device (EZ-IO) in a paediatric emergency department. *J Paediatr Child Health* 56(9):1376–1381. <https://doi.org/10.1111/jpc.14940>
300. Harcke HT, Curtin RN, Hartly MP et al (2020) Tibial Intraosseous insertion in pediatric emergency care: a review based upon postmortem computed tomography. *Prehosp Emerg Care* 24(5):665–671. <https://doi.org/10.1080/10903127.2019.1698682>
301. Szarpak L, Ladny JR, Dabrowski M et al (2020) Comparison of 4 pediatric intraosseous access devices: a randomized simulation study. *Pediatr Emerg Care* 36(10):e568–e572. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000001587>
302. Hamed RK, Hartmans S, Gausche-Hill M (2013) Anesthesia through an intraosseous line using an 18-gauge intravenous needle for emergency pediatric surgery. *J Clin Anesth* 25(6):447–451. <https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2013.03.013>
303. Kalechstein S, Pernal A, Cameron BM et al (2012) Evaluation of a new pediatric intraosseous needle insertion device for low-resource settings. *J Pediatr Surg* 47(5):974–979. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2012.01.055>
304. Isayama K, Nakatani T, Tsuda M, Hirakawa A (2012) Current status of establishing a venous line in CPA patients by Emergency Life-Saving Technicians in the prehospital setting in Japan and a proposal for intraosseous infusion. *Int J Emerg Med* 5(1):2. <https://doi.org/10.1186/1865-1380-5-2>
305. Hansen M, Meckler G, Spiro D, Newgard C (2011) Intraosseous line use, complications, and outcomes among a population-based cohort of children presenting to California hospitals. *Pediatr Emerg Care* 27(10):928–932. <https://doi.org/10.1097/PEC.0b013e3182307a2f>
306. Sunde GA, Heradstveit BE, Vikenes BH, Heltne JK (2010) Emergency intraosseous access in a helicopter emergency medical service: a retrospective study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 18:52. <https://doi.org/10.1186/1757-7241-18-52>
307. Bielski K, Szarpak L, Smereka J, Ladny JR, Leung S, Ruetzler K (2017) Comparison of four different intraosseous access devices during simulated pediatric resuscitation. A randomized crossover manikin trial. *Eur J Pediatr* 176(7):865–871. <https://doi.org/10.1007/s00431-017-2922-z>
308. Pifko EL, Price A, Busch C et al (2018) Observational review of paediatric intraosseous needle placement in the paediatric emergency department. *J Paediatr Child Health* 54(5):546–550. <https://doi.org/10.1111/jpc.13773>
309. Johnson M, Inaba K, Byerly S et al (2016) Intraosseous infusion as a bridge to definitive access. *Am Surg* 82(10):876–880 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27779964>)
310. Oksan D, Ayfer K (2013) Powered intraosseous device (EZ-IO) for critically ill patients. *Indian Pediatr* 50(7):689–691. <https://doi.org/10.1007/s13312-013-0192-z>
311. Reuter-Rice K, Patrick D, Kantor E, Nolin C, Foley J (2015) Characteristics of children who undergo intraosseous needle placement. *Adv Emerg Nurs J* 37(4):301–307. <https://doi.org/10.1097/TME.000000000000077>
312. Lee SH, Frey M, Kerrey BT, Zhang Y, Byczkowski T, Geis GL (2020) A video-based, case-control study of factors associated with Intraosseous catheterization during pediatric resuscitation. *Ann Emerg Med* 75(6):755–761. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2019.09.005>
313. Abramson TM, Alreshaid L, Kang T, Mailhot T, Omer T (2018) Fasciotomy: ultrasound evaluation of an Intraosseous needle causing compartment syndrome. *Clin Pract Cases Emerg Med* 2(4):323–325. <https://doi.org/10.5811/cpcem.2018.8.38854>
314. Tsung JW, Blaivas M, Stone MB (2009) Feasibility of point-of-care colour Doppler ultrasound confirmation of intraosseous needle placement during resuscitation. *Resuscitation* 80(6):665–668. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2009.03.009>
315. Oulego-Eroz I, Munoz-Lozon A, Alonso-Quintela P, Rodriguez-Nunez A (2016) Comparison of ultrasound guided brachiocephalic and internal jugular vein cannulation in critically ill children. *J Crit Care* 35:133–137. <https://doi.org/10.1016/j.jccr.2016.05.010>
316. Gallagher RA, Levy J, Vieira RL, Monuteaux MC, Stack AM (2014) Ultrasound assistance for central venous catheter placement in a pediatric emergency department improves placement success rates. *Acad Emerg Med* 21(9):981–986. <https://doi.org/10.1111/acem.12460>
317. Stinson HR, Viteri S, Koetter P et al (2019) Early experience with a novel strategy for assessment of sepsis risk: the shock huddle. *Pediatr Qual Saf* 4(4):e197. <https://doi.org/10.1097/pq9.000000000000197>
318. Wulff A, Montag S, Marscholke M, Jack T (2019) Clinical decision-support systems for detection of systemic inflammatory response syndrome, sepsis, and septic shock in critically ill patients: a systematic review. *Methods Inf Med* 58(5 02):e43–e57. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1695717>
319. Pepper DJ, Natanson C, Eichacker PQ (2018) Evidence underpinning the centers for medicare & medicaid services' severe sepsis and septic shock management bundle (SEP-1). *Ann Intern Med* 168(8):610–612. <https://doi.org/10.7326/L18-0140>
320. Barboza CL, Valette CO, da Silva AR (2020) Bundle adherence of intravenous antibiotic fluid resuscitation and vasopressor in children with severe sepsis or septic shock. *Indian J Crit Care Med* 24(2):128–132. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10071-23336>
321. Balamuth F, Weiss SL, Fitzgerald JC et al (2016) Protocolized treatment is associated with decreased organ dysfunction in pediatric severe sepsis. *Pediatr Crit Care Med* 17(9):817–822. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000000858>
322. Workman JK, Ames SG, Reeder RW et al (2016) Treatment of pediatric septic shock with the surviving sepsis campaign guidelines and PICU patient outcomes. *Pediatr Crit Care Med* 17(10):e451–e458. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000000906>
323. Lane RD, Funai T, Reeder R, Larsen GY (2016) High reliability pediatric septic shock quality improvement initiative and decreasing mortality. *Pediatrics*. <https://doi.org/10.1542/peds.2015-4153>
324. Hebert A, Boucher MP, Guimont C, Weiss M (2017) Effect of measuring vital signs on recognition and treatment of septic children. *Paediatr Child Health* 22(1):13–16. <https://doi.org/10.1093/pch/pxw003>
325. Paul R, Melendez E, Wathen B et al (2018) A quality improvement collaborative for pediatric sepsis: lessons learned. *Pediatr Qual Saf* 3(1):e51. <https://doi.org/10.1097/pq9.0000000000000051>
326. Evans IVR, Phillips GS, Alpern ER et al (2018) Association between the New York sepsis care mandate and in-hospital mortality for pediatric sepsis. *JAMA* 320(4):358–367. <https://doi.org/10.1001/jama.2018.9071>
327. Samransamruajkit R, Limprayoon K, Lertbunriyan R et al (2018) The utilization of the surviving sepsis campaign care bundles in the treatment of pediatric patients with severe sepsis or septic shock in a resource-limited environment: a prospective multicenter trial. *Indian J Crit Care Med* 22(12):846–851. https://doi.org/10.4103/ijccm.IJCCM_367_18
328. Kortz TB, Axelrod DM, Chisti MJ, Kache S (2017) Clinical outcomes and mortality before and after implementation of a pediatric sepsis protocol in a limited resource setting: A retrospective cohort study in Bangladesh. *Plos One* 12(7):e181160. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181160>
329. Lane RD, Olson J, Reeder R et al (2020) Antibiotic timing in pediatric septic shock. *Hosp Pediatr* 10(4):311–317. <https://doi.org/10.1542/hpeds.2019-0250>
330. Kyo M, Ohshimo S, Kosaka T, Fujita N, Shime N (2019) Impact of inappropriate empiric antimicrobial therapy on mortality in pediatric patients with bloodstream infection: a retrospective observational study. *J Chemother* 31(7–8):388–393. <https://doi.org/10.1080/1120009X.2019.1623362>
331. van Paridon BM, Guerra GG, Sheppard C, Joffe AR, Sepsis AN (2015) Timing of antibiotics, volume, and vasoactive infusions in children with sepsis admitted to intensive care. *Crit Care* 19:293. <https://doi.org/10.1186/s13054-015-1010-x>
332. Carapetis JR, Jacoby P, Carville K, Ang SJ, Curtis N, Andrews R (2014) Effectiveness of clindamycin and intravenous immunoglobulin, and risk of disease in contacts, in invasive group A streptococcal infections. *Clin Infect Dis* 59(3):358–365. <https://doi.org/10.1093/cid/ciu304>
333. Weiss SL, Fitzgerald JC, Balamuth F et al (2014) Delayed antimicrobial therapy increases mortality and organ dysfunction duration in pediatric sepsis. *Crit Care Med* 42(11):2409–2417. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000509>
334. Fusco NM, Parbuoni KA, Morgan JA (2015) Time to first antimicrobial administration after onset of sepsis in critically ill children. *J Pediatr Pharmacol Ther* 20(1):37–44. <https://doi.org/10.5863/1551-6776-20.1.37>
335. Han M, Fitzgerald JC, Balamuth F et al (2017) Association of delayed antimicrobial therapy with one-year mortality in pediatric sepsis. *Shock* 48(1):29–35. <https://doi.org/10.1097/SHK.0000000000000833>
336. Li Q, Cheng J, Wu Y et al (2019) Effects of delayed antibiotic therapy on outcomes in children with streptococcus pneumoniae sepsis. *Antimicrob Agents Chemother*. <https://doi.org/10.1128/AAC.00623-19>
337. Tran P, Dowell E, Hamilton S et al (2020) Two blood cultures with age-appropriate volume enhance suspected sepsis decision-making. *Open Forum Infect Dis* 7(2):ofaa28. <https://doi.org/10.1093/ofid/ofaa028>
338. Ventura AM, Shieh HH, Bousso A et al (2015) Double-blind prospective randomized controlled trial of dopamine versus epinephrine as first-line vasoactive drugs in pediatric septic shock. *Crit Care Med* 43(11):2292–2302. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000001260>
339. Ramaswamy KN, Singhi S, Jayashree M, Bansal A, Nallasamy K (2016) Double-blind randomized clinical trial comparing dopamine and epinephrine in pediatric fluid-refractory hypotensive septic shock. *Pediatr Crit Care Med* 17(11):e502–e512. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000000954>

340. Wen L, Xu L (2020) The efficacy of dopamine versus epinephrine for pediatric or neonatal septic shock: a meta-analysis of randomized controlled studies. *Ital J Pediatr* 46(1):6. <https://doi.org/10.1186/s13052-019-0768-x>
341. Masarwa R, Paret G, Perlman A, Reif S, Racah BH, Matok I (2017) Role of vasopressin and terlipressin in refractory shock compared to conventional therapy in the neonatal and pediatric population: a systematic review, meta-analysis, and trial sequential analysis. *Crit Care* 21(1):1. <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1589-6>
342. Lampin ME, Rousseaux J, Botte A, Sadik A, Cremer R, Leclerc F (2012) Noradrenaline use for septic shock in children: doses, routes of administration and complications. *Acta Paediatr* 101(9):e426–e430. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.2012.02725.x>
343. Michel J, Hofbeck M, Spiller G, Renk H, Kumpf M, Neunhoeffer F (2017) Safety and efficacy of terlipressin in pediatric distributive shock: a retrospective analysis in 20 children. *Paediatr Drugs* 19(1):35–41. <https://doi.org/10.1007/s40272-016-0199-8>
344. Patregnani JT, Sochet AA, Klugman D (2017) Short-term peripheral vasoactive infusions in pediatrics: where is the Harm? *Pediatr Crit Care Med* 18(8):e378–e381. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001230>
345. Morin L, Kneyber M, Jansen NJG et al (2019) Translational gap in pediatric septic shock management: an ESPNIC perspective. *Ann Intensive Care* 9(1):73. <https://doi.org/10.1186/s13613-019-0545-4>
346. Ranjit S, Natraj R, Kandath SK, Kissoon N, Ramakrishnan B, Marik PE (2016) Early norepinephrine decreases fluid and ventilatory requirements in pediatric vasodilatory septic shock. *Indian J Crit Care Med* 20(10):561–569. <https://doi.org/10.4103/0972-5229.192036>
347. Ferguson LP, Thiru Y, Staffa SJ, Guillen Ortega M (2020) Reducing cardiac arrests in the PICU: initiative to improve time to administration of prearrest bolus epinephrine in patients with cardiac disease. *Crit Care Med* 48(7):e542–e549. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000004349>
348. Gamper G, Havel C, Arrich J et al (2016) Vasopressors for hypotensive shock. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003709.pub4>
349. Misir A, Mehrotra S (2018) Fluid and medication considerations in the traumatized patient. *Curr Pediatr Rev* 14(1):9–27. <https://doi.org/10.2174/1573396313666170815101504>
350. Health RCoPaC Major trauma and the use of tranexamic acid in children Evidence statement Royal College of Paediatrics and Child Health. November 2012. <https://www.rcem.ac.uk/docs/ExternalGuidance/>
351. Patel J, Prajapati M, Patel H, Gandhi H, Deodhar S, Pandya H (2017) Topical and low-dose intravenous tranexamic acid in cyanotic cardiac surgery. *Asian Cardiovasc Thorac Ann* 25(2):118–122. <https://doi.org/10.1177/0218492316688416>
352. O'Neil ER, Schmees LR, Resendiz K, Justino H, Anders MM (2020) Inhaled tranexamic acid as a novel treatment for pulmonary hemorrhage in critically ill pediatric patients: an observational study. *Crit Care* 2(1):e75. <https://doi.org/10.1097/CCE.0000000000000075>
353. Maeda T, Michihata N, Sasabuchi Y et al (2018) Safety of tranexamic acid during pediatric trauma: a nationwide database study. *Pediatr Crit Care Med* 19(12):e637–e642. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001724>
354. Eckert MJ, Wertin TM, Tyner SD, Nelson DW, Izenberg S, Martin MJ (2014) Tranexamic acid administration to pediatric trauma patients in a combat setting: the pediatric trauma and tranexamic acid study (PED-TRAX). *J Trauma Acute Care Surg* 77(6):852–858. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000443> (discussion 858)
355. Lin CY, Shuhaiber JH, Loyola H et al (2015) The safety and efficacy of antifibrinolytic therapy in neonatal cardiac surgery. *Plos One* 10(5):e126514. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126514>
356. Zhang Y, Wang R, Wang YH et al (2019) Effects of tranexamic acid on the blood conservation and the long-term prognosis in pediatric patients undergoing repair for tetralogy of fallot. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi* 99(45):3564–3567. <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2019.45.007>
357. Crash-trial collaborators, Shakur H, Roberts I et al (2010) Effects of tranexamic acid on death, vascular occlusive events, and blood transfusion in trauma patients with significant haemorrhage (CRASH-2): a randomised, placebo-controlled trial. *Lancet* 376(9734):23–32. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)60835-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)60835-5)
358. collaborators C-t. (2019) Effects of tranexamic acid on death, disability, vascular occlusive events and other morbidities in patients with acute traumatic brain injury (CRASH-3): a randomised, placebo-controlled trial. *Lancet* 394(10210):1713–1723. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)32233-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)32233-0)
359. Menon K, McNally D, Choong K, Sampson M (2013) A systematic review and meta-analysis on the effect of steroids in pediatric shock. *Pediatr Crit Care Med* 14(5):474–480. <https://doi.org/10.1097/PCC.0b013e31828a8125>
360. El-Nawawy A, Khater D, Omar H, Wali Y (2017) Evaluation of early corticosteroid therapy in management of pediatric septic shock in pediatric intensive care patients: a randomized clinical study. *Pediatr Infect Dis J* 36(2):155–159. <https://doi.org/10.1097/INF.0000000000001380>
361. Wong HR, Cvijanovich NZ, Anas N et al (2018) Endo-type transitions during the acute phase of pediatric septic shock reflect changing risk and treatment response. *Crit Care Med* 46(3):e242–e249. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000002932>
362. Wong HR, Atkinson SJ, Cvijanovich NZ et al (2016) Combining prognostic and predictive enrichment strategies to identify children with septic shock responsive to corticosteroids. *Crit Care Med* 44(10):e1000–e1003. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000001833>
363. Nichols B, Kubis S, Hewlett J, Yehya N, Srinivasan V (2017) Hydrocortisone therapy in catecholamine-resistant pediatric septic shock: a pragmatic analysis of clinician practice and association with outcomes. *Pediatr Crit Care Med* 18(9):e406–e414. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001237>
364. Menon K, McNally JD, Choong K et al (2015) A cohort study of pediatric shock: frequency of corticosteroid use and association with clinical outcomes. *Shock* 44(5):402–409. <https://doi.org/10.1097/SHK.0000000000000355>
365. Atkinson SJ, Cvijanovich NZ, Thomas NJ et al (2014) Corticosteroids and pediatric septic shock outcomes: a risk stratified analysis. *Plos One* 9(11):e112702. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112702>
366. Cooney L, Hawcutt D, Sinha I (2016) The evidence for intravenous theophylline levels between 10–20 mg/L in children suffering an acute exacerbation of asthma: a systematic review. *Plos One* 11(4):e153877. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153877>
367. Cooney L, Sinha I, Hawcutt D (2016) Aminophylline dosage in Asthma exacerbations in children: a systematic review. *Plos One* 11(8):e159965. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159965>
368. Mathew JL (2017) Systematic review on efficacy of Magnesium (intravenous or nebulized) for acute asthma episodes in children: evidence-based medicine viewpoint. *Indian Pediatr* 54(2):133–136. <https://doi.org/10.1007/s13312-017-1016-3>
369. Vezina K, Chauhan BF, Ducharme FM (2014) Inhaled anticholinergics and short-acting beta(2)-agonists versus short-acting beta2-agonists alone for children with acute asthma in hospital. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010283.pub2>
370. Knightly R, Milan SJ, Hughes R et al (2017) Inhaled magnesium sulfate in the treatment of acute asthma. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003898.pub6>
371. Keeney GE, Gray MP, Morrison AK et al (2014) Dexamethasone for acute asthma exacerbations in children: a meta-analysis. *Pediatrics* 133(3):493–499. <https://doi.org/10.1542/peds.2013-2273>
372. Pde SS, Barreto SS (2015) Noninvasive ventilation in status asthmaticus in children: levels of evidence. *Rev Bras Ter Intensiva* 27(4):390–396. <https://doi.org/10.5935/0103-507X.20150065>
373. Liu X, Yu T, Rower JE, Campbell SC, Sherwin CM, Johnson MD (2016) Optimizing the use of intravenous magnesium sulfate for acute asthma treatment in children. *Pediatr Pulmonol* 51(12):1414–1421. <https://doi.org/10.1002/ppul.23482>
374. Hon KLE, Leung AKC (2017) Medications and recent patents for status Asthmaticus in children. *Recent Pat Inflamm Allergy Drug Discov* 11(1):12–21. <https://doi.org/10.2174/1872213X11666170130143524>
375. Pardue Jones B, Fleming GM, Otilillo JK, Asokan I, Arnold DH (2016) Pediatric acute asthma exacerbations: evaluation and management from emergency department to intensive care unit. *J Asthma* 53(6):607–617. <https://doi.org/10.3109/02770903.2015.1067323>
376. Tiwari A, Guglani V, Jat KR (2016) Ketamine versus aminophylline for acute asthma in children: a randomized, controlled trial. *Ann Thorac Med* 11(4):283–288. <https://doi.org/10.4103/1817-1737.191874>
377. Cronin JJ, McCoy S, Kennedy U et al (2016) A randomized trial of single-dose oral dexamethasone versus multidose prednisolone for acute exacerbations of asthma in children who attend the emergency department. *Ann Emerg Med* 67(5):593–601e3. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2015.08.001>
378. Paniagua N, Lopez R, Munoz N et al (2017) Randomized trial of dexamethasone versus prednisone for children with acute asthma exacerbations. *J Pediatr* 191(e1):190–196e1. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2017.08.030>
379. Alangari AA, Malhis N, Mubasher M et al (2014) Budesonide nebulization added to systemic prednisolone in the treatment of acute asthma in children: a double-blind, randomized, controlled trial. *Chest* 145(4):772–778. <https://doi.org/10.1378/chest.13-2298>
380. Muchao FP, Souza JM, Torres HC et al (2016) Albuterol via metered-dose inhaler in children: lower doses are effective, and higher doses are

- safe. *Pediatr Pulmonol* 51(11):1122–1130. <https://doi.org/10.1002/ppul.23469>
381. Arulparithi CS, Babu TA, Ravichandran C et al (2015) Efficacy of nebulised budesonide versus oral prednisolone in acute severe asthma. *Indian J Pediatr* 82(4):328–332. <https://doi.org/10.1007/s12098-014-1498-0>
382. Iramain R, Castro-Rodriguez JA, Jara A et al (2019) Salbutamol and ipratropium by inhaler is superior to nebulizer in children with severe acute asthma exacerbation: randomized clinical trial. *Pediatr Pulmonol* 54(4):372–377. <https://doi.org/10.1002/ppul.24244>
383. Cundiff KM, Gerard JM, Flood RG (2018) Critical care interventions for asthmatic patients admitted from the emergency department to the pediatric intensive care unit. *Pediatr Emerg Care* 34(6):385–389. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000001163>
384. Hudgins JD, Neuman MI, Monuteaux MC, Porter J, Nelson KA (2019) Provision of guideline-based pediatric asthma care in US emergency departments. *Pediatr Emerg Care*. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000001706>
385. Golden C, Xu M, Estrada CM, Arnold DH (2015) Clinical outcomes after bilevel positive airway pressure treatment for acute asthma exacerbations. *JAMA Pediatr* 169(2):186–188. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2014.2767>
386. Rehder KJ (2017) Adjunct therapies for refractory status Asthmaticus in children. *Respir Care* 62(6):849–865. <https://doi.org/10.4187/respcare.05174>
387. Wisecup S, Eades S, Hashmi SS, Samuels C, Mosquera RA (2015) Diastolic hypotension in pediatric patients with asthma receiving continuous albuterol. *J Asthma* 52(7):693–698. <https://doi.org/10.3109/02770903.2014.1002566>
388. Male I, Richter H, Seddon P (2000) Children's perception of breathlessness in acute asthma. *Arch Dis Child* 83(4):325–329. <https://doi.org/10.1136/adc.83.4.325>
389. Cates CJ, Welsh EJ, Rowe BH (2013) Holding chambers (spacers) versus nebulisers for beta-agonist treatment of acute asthma. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD000052.pub3>
390. Watts K, Chavasse RJ (2012) Leukotriene receptor antagonists in addition to usual care for acute asthma in adults and children. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006100.pub2>
391. Griffiths B, Ducharme FM (2013) Combined inhaled anticholinergics and short-acting beta2-agonists for initial treatment of acute asthma in children. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD000060.pub2>
392. Edmonds ML, Milan SJ, Camargo CA Jr., Pollack CV, Rowe BH (2012) Early use of inhaled corticosteroids in the emergency department treatment of acute asthma. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD002308.pub2>
393. Jat KR, Chawla D (2012) Ketamine for management of acute exacerbations of asthma in children. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009293.pub2>
394. Le Conte P, Terzi N, Mortamet G et al (2019) Management of severe asthma exacerbation: guidelines from the Societe Francaise de Medecine d'Urgence, the Societe de Reanimation de Langue Francaise and the French Group for Pediatric Intensive Care and Emergencies. *Ann Intensive Care* 9(1):115. <https://doi.org/10.1186/s13613-019-0584-x>
395. Wei J, Lu Y, Han F, Zhang J, Liu L, Chen Q (2019) Oral dexamethasone vs. oral prednisone for children with acute asthma exacerbations: a systematic review and meta-analysis. *Front Pediatr* 7:503. <https://doi.org/10.3389/fped.2019.00503>
396. Murphy KR, Hong JG, Wandalsen G et al (2020) Nebulized inhaled corticosteroids in asthma treatment in children 5 years or younger: a systematic review and global expert analysis. *J Allergy Clin Immunol Pract* 8(6):1815–1827. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2020.01.042>
397. Liedtke AG, Lava SAG, Milani GP et al (2019) Selective ss2-Adrenoceptor agonists and relevant hyperlactatemia: systematic review and meta-analysis. *J Clin Med*. <https://doi.org/10.3390/jcm9010071>
398. Kwon JW (2020) High-flow nasal cannula oxygen therapy in children: a clinical review. *Clin Exp Pediatr* 63(1):3–7. <https://doi.org/10.3345/kjpp.2019.00626>
399. Katsumuma T, Fujisawa T, Maekawa T et al (2019) Low-dose I-isoproterenol versus salbutamol in hospitalized pediatric patients with severe acute exacerbation of asthma: A double-blind, randomized controlled trial. *Allergol Int* 68(3):335–341. <https://doi.org/10.1016/j.alit.2019.02.001>
400. Graff DM, Stevenson MD, Berkenbosch JW (2019) Safety of prolonged magnesium sulfate infusions during treatment for severe pediatric status asthmaticus. *Pediatr Pulmonol* 54(12):1941–1947. <https://doi.org/10.1002/ppul.24499>
401. Messer AF, Sampayo EM, Mothner B et al (2019) Continuous albuterol in pediatric acute care: study demonstrates safety outside the intensive care unit. *Pediatr Qual Saf* 4(6):e225. <https://doi.org/10.1097/pq9.0000000000000225>
402. Boeschoten S, de Hoog M, Kneyber M, Merkus P, Boehmer A, Buysse C (2020) Current practices in children with severe acute asthma across European PICUs: an ESPNIC survey. *Eur J Pediatr* 179(3):455–461. <https://doi.org/10.1007/s00431-019-03502-9>
403. Kapuscinski CA, Stauber SD, Hutchinson DJ (2020) Escalation in therapy based on intravenous Magnesium sulfate dosing in pediatric patients with asthma exacerbations. *J Pediatr Pharmacol Ther* 25(4):314–319. <https://doi.org/10.5863/1551-6776-25.4.314>
404. Lott C, Alfonso A, Barelli A, González-Salvado V, Hinkelbein J, Nolan JP, Paal P, Perkins GD, Thies K-C, Yeung J, Zideman DA, Soar J (2021) European Resuscitation Council Guidelines 2021: Cardiac arrest in special circumstances. *Resuscitation* 161:152–219. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.011>
405. Muraro A, Roberts G, Worm M et al (2014) Anaphylaxis: guidelines from the European Academy of Allergy and Clinical Immunology. *Allergy* 69(8):1026–1045. <https://doi.org/10.1111/all.12437>
406. Simons FE, Arduoso LR, Bilo MB et al (2014) International consensus on (ICON) anaphylaxis. *World Allergy Organ J* 7(1):9. <https://doi.org/10.1186/1939-4551-7-9>
407. Simons FE, Ebisawa M, Sanchez-Borges M et al (2015) 2015 update of the evidence base: World Allergy Organization anaphylaxis guidelines. *World Allergy Organ J* 8(1):32. <https://doi.org/10.1186/s40413-015-0080-1>
408. Shaker MS, Wallace DV, Golden DBK et al (2020) Anaphylaxis—a 2020 practice parameter update, systematic review, and grading of recommendations, assessment, development and evaluation (GRADE) analysis. *J Allergy Clin Immunol* 145(4):1082–1123. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2020.01.017>
409. Sicherer SH, Simons FER, Section On A, Immunology (2017) Epinephrine for first-aid management of anaphylaxis. *Pediatrics*. <https://doi.org/10.1542/peds.2016-4006>
410. Halbrich M, Mack DP, Carr S, Watson W, Kim H (2015) CSACI position statement: epinephrine auto-injectors and children (15 kg). *Allergy Asthma Clin Immunol* 11(1):20. <https://doi.org/10.1186/s13223-015-0086-9>
411. Lieberman P, Nicklas RA, Randolph C et al (2015) Anaphylaxis—a practice parameter update 2015. *Ann Allergy Asthma Immunol* 115(5):341–384. <https://doi.org/10.1016/j.anaai.2015.07.019>
412. Campbell RL, Li JT, Nicklas RA, Sadosty AT, Members of the Joint Task F, Practice Parameter W (2014) Emergency department diagnosis and treatment of anaphylaxis: a practice parameter. *Ann Allergy Asthma Immunol* 113(6):599–608. <https://doi.org/10.1016/j.anaai.2014.10.007>
413. Atanaskovic-Markovic M, Gomes E, Cernadas JR et al (2019) Diagnosis and management of drug-induced anaphylaxis in children: An EAACI position paper. *Pediatr Allergy Immunol* 30(3):269–276. <https://doi.org/10.1111/pai.13034>
414. Turner PJ, Worm M, Ansotegui IJ et al (2019) Time to revisit the definition and clinical criteria for anaphylaxis? *World Allergy Organ J* 12(10):100066. <https://doi.org/10.1016/j.waojou.2019.100066>
415. Resuscitation AaNZCo. First Aid Management of Anaphylaxis. Australian Resuscitation Council. (<https://resus.org.au/editorial-changes-guidelines/>).
416. Liyanage CK, Galappaththy P, Seneviratne SL (2017) Corticosteroids in management of anaphylaxis: a systematic review of evidence. *Eur Ann Allergy Clin Immunol* 49(5):196–207. <https://doi.org/10.23822/EurAnnACI.1764-1489.15>
417. Pourmand A, Robinson C, Syed W, Mazer-Amirshahi M (2018) Biphasic anaphylaxis: a review of the literature and implications for emergency management. *Am J Emerg Med* 36(8):1480–1485. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2018.05.009>
418. Alqurashi W, Ellis AK (2017) Do corticosteroids prevent biphasic anaphylaxis? *J Allergy Clin Immunol Pract* 5(5):1194–1205. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2017.05.022>
419. Wang Y, Allen KJ, Suaini NHA, McWilliam V, Peters RL, Koplin JJ (2019) The global incidence and prevalence of anaphylaxis in children in the general population: A systematic review. *Allergy* 74(6):1063–1080. <https://doi.org/10.1111/all.13732>
420. Posner LS, Camargo CA Jr. (2017) Update on the usage and safety of epinephrine auto-injectors, 2017. *Drug Healthc Patient Saf* 9:9–18. <https://doi.org/10.2147/DHPS.S121733>
421. Tanno LK, Alvarez-Perea A, Pouessel G (2019) Therapeutic approach of anaphylaxis. *Curr Opin Allergy Clin Immunol* 19(4):393–401. <https://doi.org/10.1097/ACI.0000000000000539>
422. Anagnostou K (2018) Anaphylaxis in children: epidemiology, risk factors and management. *Curr Pediatr Rev* 14(3):180–186. <https://doi.org/10.2174/1573396314666180507115115>
423. Farbman KS, Michelson KA (2016) Anaphylaxis in children. *Curr Opin Pediatr* 28(3):294–297. <https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000340>
424. Simons FE, Sampson HA (2015) Anaphylaxis: unique aspects of clinical diagnosis and management in infants (birth to age 2 years). *J Allergy Clin Immunol* 135(5):1125–1131. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2014.09.014>

425. Gabrielli S, Clarke A, Morris J et al (2019) Evaluation of prehospital management in a Canadian emergency department anaphylaxis cohort. *J Allergy Clin Immunol Pract* 7(7):2232–2238e3. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2019.04.018>
426. Krmpotic K, Weisser C, O'Hanley A, Soder C (2019) Incidence and outcomes of severe anaphylaxis in paediatric patients in atlantic Canada. *J Pediatr Intensive Care* 8(2):113–116. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1683869>
427. Maa T, Scherzer DJ, Harwayne-Gidansky I et al (2020) Prevalence of errors in anaphylaxis in kids (PEAK): a multicenter simulation-based study. *J Allergy Clin Immunol Pract* 8(4):1239–1246e3. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2019.11.013>
428. Choi YJ, Kim J, Jung JY, Kwon H, Park JW (2019) Underuse of epinephrine for pediatric anaphylaxis victims in the emergency department: a population-based study. *Allergy Asthma Immunol Res* 11(4):529–537. <https://doi.org/10.4168/air.2019.11.4.529>
429. Cohen N, Capua T, Pivko D, Ben-Shoshan M, Benor S, Rimon A (2018) Trends in the diagnosis and management of anaphylaxis in a tertiary care pediatric emergency department. *Ann Allergy Asthma Immunol* 121(3):348–352. <https://doi.org/10.1016/j.anaei.2018.06.033>
430. Ruiz Oropeza A, Lassen A, Halken S, Bindslev-Jensen C, Mortz CG (2017) Anaphylaxis in an emergency care setting: a one year prospective study in children and adults. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 25(1):111. <https://doi.org/10.1186/s13049-017-0402-0>
431. Michelson KA, Monuteaux MC, Neuman MI (2015) Glucocorticoids and hospital length of stay for children with anaphylaxis: a retrospective study. *J Pediatr* 167(3):719–724.e1–3. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2015.05.033>
432. Fleming JT, Clark S, Camargo CA Jr., Rudders SA (2015) Early treatment of food-induced anaphylaxis with epinephrine is associated with a lower risk of hospitalization. *J Allergy Clin Immunol Pract* 3(1):57–62. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2014.07.004>
433. van der Valk JPM, Berends I, Gerth van Wijk R et al (2018) Small percentage of anaphylactic reactions treated with epinephrine during food challenges in Dutch children. *Ann Allergy Asthma Immunol* 120(3):300–303. <https://doi.org/10.1016/j.anaei.2017.08.018>
434. Ninchoji T, Iwatani S, Nishiyama M et al (2018) Current situation of treatment for anaphylaxis in a Japanese pediatric emergency center. *Pediatr Emerg Care* 34(4):e64–e67. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000000691>
435. Dubus JC, Le MS, Vitte J et al (2019) Use of epinephrine in emergency department depends on anaphylaxis severity in children. *Eur J Pediatr* 178(1):69–75. <https://doi.org/10.1007/s00431-018-3246-3>
436. Sidhu N, Jones S, Perry T et al (2016) Evaluation of anaphylaxis management in a pediatric emergency department. *Pediatr Emerg Care* 32(8):508–513. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000000864>
437. Robinson M, Greenhawt M, Stukus DR (2017) Factors associated with epinephrine administration for anaphylaxis in children before arrival to the emergency department. *Ann Allergy Asthma Immunol* 119(2):164–169. <https://doi.org/10.1016/j.anaei.2017.06.001>
438. Latimer AJ, Husain S, Nolan J et al (2018) Syringe administration of epinephrine by emergency medical technicians for anaphylaxis. *Prehosp Emerg Care* 22(3):319–325. <https://doi.org/10.1080/10903127.2017.1392667>
439. Cristiano LM, Hiestand B, Caldwell JW et al (2018) Prehospital administration of epinephrine in pediatric anaphylaxis—a statewide perspective. *Prehosp Emerg Care* 22(4):452–456. <https://doi.org/10.1080/10903127.2017.1399184>
440. Carrillo E, Hern HG, Barger J (2016) Prehospital administration of epinephrine in pediatric anaphylaxis. *Prehosp Emerg Care* 20(2):239–244. <https://doi.org/10.3109/10903127.2015.1086843>
441. Andrew E, Nehme Z, Bernard S, Smith K (2018) Pediatric anaphylaxis in the prehospital setting: incidence, characteristics, and management. *Prehosp Emerg Care* 22(4):445–451. <https://doi.org/10.1080/10903127.2017.1402110>
442. Kim L, Nevis IF, Tsai G et al (2014) Children under 15 kg with food allergy may be at risk of having epinephrine auto-injectors administered into bone. *Allergy Asthma Clin Immunol* 10(1):40. <https://doi.org/10.1186/1710-1492-10-40>
443. Topal E, Bakirtas A, Yilmaz O et al (2013) Anaphylaxis in infancy compared with older children. *Allergy Asthma Proc* 34(3):233–238. <https://doi.org/10.2500/aap.2013.34.3658>
444. Grabenhenrich LB, Dolle S, Moneret-Vautrin A et al (2016) Anaphylaxis in children and adolescents: the European Anaphylaxis Registry. *J Allergy Clin Immunol* 137(4):1128–1137e1. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2015.11.015>
445. Loprinzi Brauer CE, Motosue MS, Li JT et al (2016) Prospective validation of the NIAID/FAAN criteria for emergency department diagnosis of Anaphylaxis. *J Allergy Clin Immunol Pract* 4(6):1220–1226. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2016.06.003>
446. Mintegi S, Azkunaga B, Prego J et al (2019) International epidemiological differences in acute poisonings in pediatric emergency departments. *Pediatr Emerg Care* 35(1):50–57. <https://doi.org/10.1097/PEC.00000000000001031>
447. Avau B, Borra V, Vanhove AC, Vandekerckhove P, De Paep P, De Buck E (2018) First aid interventions by laypeople for acute oral poisoning. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013230>
448. Mintegi S, Dalziel SR, Azkunaga B et al (2017) International variability in gastrointestinal decontamination with acute poisonings. *Pediatrics*. <https://doi.org/10.1542/peds.2017-0006>
449. Quinn N, Palmer CS, Bernard S, Noonan M, Teague WJ (2020) Thoracostomy in children with severe trauma: an overview of the paediatric experience in Victoria, Australia. *Emerg Med Australas* 32(1):117–126. <https://doi.org/10.1111/1742-6723.13392>
450. Terboven T, Leonhard G, Wessel L et al (2019) Chest wall thickness and depth to vital structures in paediatric patients—implications for prehospital needle decompression of tension pneumothorax. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 27(1):45. <https://doi.org/10.1186/s13049-019-0623-5>
451. Leonhard G, Overhoff D, Wessel L et al (2019) Determining optimal needle size for decompression of tension pneumothorax in children—a CT-based study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 27(1):90. <https://doi.org/10.1186/s13049-019-0671-x>
452. Pelland-Marcotte MC, Tucker C, Klaassen A et al (2019) Outcomes and risk factors of massive and submassive pulmonary embolism in children: a retrospective cohort study. *Lancet Haematol* 6(3):e144–e153. [https://doi.org/10.1016/S2352-3026\(18\)30224-2](https://doi.org/10.1016/S2352-3026(18)30224-2)
453. Morgan JK, Brown J, Bray RM (2018) Resilience as a moderating factor between stress and alcohol-related consequences in the Army National Guard. *Addict Behav* 80:22–27. <https://doi.org/10.1016/j.addbeh.2018.01.002>
454. Belsky J, Warren P, Stanek J, Kumar R (2020) Catheter-directed thrombolysis for submassive pulmonary embolism in children: a case series. *Pediatr Blood Cancer* 67(4):e28144. <https://doi.org/10.1002/mbc.28144>
455. Akam-Venkata J, Forbes TJ, Schreiber T et al (2018) Catheter-directed therapy for acute pulmonary embolism in children. *Cardiol Young*. <https://doi.org/10.1017/S1047951118002135>
456. Kayashima K (2015) Factors affecting survival in pediatric cardiac tamponade caused by central venous catheters. *J Anesth* 29(6):944–952. <https://doi.org/10.1007/s00540-015-2045-5>
457. Jat KR, Lodha R, Kabra SK (2011) Arrhythmias in children. *Indian J Pediatr* 78(2):211–218. <https://doi.org/10.1007/s12098-010-0276-x>
458. Baruteau AE, Perry JC, Sanatani S, Horie M, Dubin AM (2016) Evaluation and management of bradycardia in neonates and children. *Eur J Pediatr* 175(2):151–161. <https://doi.org/10.1007/s00431-015-2689-z>
459. Eisa L, Passi Y, Lerman J, Raczk M, Heard C (2015) Do small doses of atropine ((0.1 mg) cause bradycardia in young children? *Arch Dis Child* 100(7):684–688. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2014-307868>
460. Brugada J, Blom N, Sarquella-Brugada G et al (2013) Pharmacological and non-pharmacological therapy for arrhythmias in the pediatric population: EHRA and AEP-Arrhythmia Working Group joint consensus statement. *Europace* 15(9):1337–1382. <https://doi.org/10.1093/europace/eut082>
461. Brugada J, Katritsis DG, Arbelo E et al (2020) 2019 ESC Guidelines for the management of patients with supraventricular tachycardia: The Task Force for the management of patients with supraventricular tachycardia of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 41(5):655–720. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz467>
462. BET 1: Intraosseous adenosine for the termination of paroxysmal supraventricular tachycardia in children. *Emergency Medicine* 2014;31(7):604–605. <https://doi.org/10.1136/emmermed-2014-203947.1>
463. Quail MA, Till J (2012) Question 3 Does a higher initial dose of adenosine improve cardioversion rates in supraventricular tachycardia? *Arch Dis Child* 97(2):177–179. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2011-301079>
464. Campbell M, Buitrago SR (2017) BET 2: Ice water immersion, other vagal manoeuvres or adenosine for SVT in children. *Emerg Med Clin North Am* 34(1):58–60. <https://doi.org/10.1136/emmermed-2016-206487.2>
465. Richardson C, Silver ES (2017) Management of supraventricular tachycardia in infants. *Paediatr Drugs* 19(6):539–551. <https://doi.org/10.1007/s40272-017-0254-0>
466. Bronzetti G, Brighenti M, Mariucci E et al (2018) Upside-down position for the out of hospital management of children with supraventricular tachycardia. *Int J Cardiol* 252:106–109. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2017.10.120>
467. Gill BU, Bukhari SN, Rashid MA, Saleemi MS, Zaffar MZ (2014) Comparing the efficacy of intravenous adenosine and verapamil in termination of acute paroxysmal supra ventricular tachycardia. *J Ayub Med Coll Abbottabad* 26(1):29–31 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25358211>)

468. Clausen H, Theophilos T, Jackno K, Babl FE (2012) Paediatric arrhythmias in the emergency department. *Emerg Med Clin North Am* 29(9):732–737. <https://doi.org/10.1136/emered-2011-200242>
469. Chrysostomou C, Morell VO, Wearden P, Sanchez-de-Toledo J, Jooste EH, Beerman L (2013) Dexametomidine: therapeutic use for the termination of reentrant supraventricular tachycardia. *Congenit Heart Dis* 8(1):48–56. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0803.2012.00669.x>
470. Moffett BS, Lupo PJ, dela Uz CM et al (2015) Efficacy of digoxin in comparison with propranolol for treatment of infant supraventricular tachycardia: analysis of a large, national database. *Cardiol Young* 25(6):1080–1085. <https://doi.org/10.1017/S1047951114001619>
471. Qureshi AU, Hyder SN, Sheikh AM, Sadiq M (2012) Optimal dose of adenosine effective for supraventricular tachycardia in children. *J Coll Physicians Surg Pak* 22(10):648–651. <https://doi.org/10.2012/JCPS648651>
472. Chu PY, Hill KD, Clark RH, Smith PB, Hornik CP (2015) Treatment of supraventricular tachycardia in infants: analysis of a large multicenter database. *Early Hum Dev* 91(6):345–350. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2015.04.001>
473. Diaz-Parra S, Sanchez-Yanez P, Zabala-Arguelles I et al (2014) Use of adenosine in the treatment of supraventricular tachycardia in a pediatric emergency department. *Pediatr Emerg Care* 30(6):388–393. <https://doi.org/10.1097/PEC.000000000000144>
474. Morello ML, Khoury PR, Knilans TK et al (2018) Risks and outcomes of direct current cardioversion in children and young adults with congenital heart disease. *Pacing Clin Electrophysiol* 41(5):472–479. <https://doi.org/10.1111/pace.13315>
475. Lewis J, Arora G, Tudorascu DL, Hickey RW, Saladino RA, Manole MD (2017) Acute management of refractory and unstable pediatric supraventricular tachycardia. *J Pediatr* 181:177–182e2. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2016.10.051>
476. Kim JH, Jung JY, Lee SU, Park JW, Choi JY (2020) Delayed adenosine therapy is associated with the refractory supraventricular tachycardia in children. *Am J Emerg Med* 38(11):2291–2296. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2019.10.018>
477. Weberding NT, Saladino RA, Minnigh MB et al (2018) Adenosine administration with a stopcock technique delivers lower-than-intended drug doses. *Ann Emerg Med* 71(2):220–224. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2017.09.002>
478. Palatinus JA, Lieber SB, Joyce KE, Richards JB (2015) Extracorporeal membrane oxygenation support for hypokalemia-induced cardiac arrest: a case report and review of the literature. *J Emerg Med* 49(2):159–164. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2015.02.046>
479. Rehman Siddiqui NU, Merchant Q, Hasan BS et al (2017) Comparison of enteral versus intravenous potassium supplementation in hypokalaemia in paediatric patients in intensive care post cardiac surgery: open-label randomised equivalence trial (EIPS). *BMJ Open* 7(5):e11179. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-011179>
480. Amirnovin R, Lieu P, Imperial-Perez F, Taketomo C, Markovitz BP, Moromisato DY (2020) Safety, efficacy, and timeliness of intravenous potassium chloride replacement protocols in a pediatric cardiothoracic intensive care unit. *J Intensive Care Med* 35(4):371–377. <https://doi.org/10.1177/0885066617752659>
481. Knudson JD, Lowry AW, Price JF, Moffett BS (2013) Response to intravenous potassium chloride supplementation in pediatric cardiac intensive care patients. *Pediatr Cardiol* 34(4):887–892. <https://doi.org/10.1007/s00246-012-0565-4>
482. Varallo FR, Trombotto V, Lucchetta RC, Mastrianni PC (2019) Efficacy and safety of the pharmacotherapy used in the management of hyperkalemia: a systematic review. *J Pharm Pract* 17(1):1361. <https://doi.org/10.18549/PharmPract.2019.1.1361>
483. Depret F, Peacock WF, Liu KD, Rafique Z, Rossignol P, Legrand M (2019) Management of hyperkalemia in the acutely ill patient. *Ann Intensive Care* 9(1):32. <https://doi.org/10.1186/s13613-019-0509-8>
484. Chime NO, Luo X, McNamara L, Nishisaki A, Hunt EA (2015) A survey demonstrating lack of consensus on the sequence of medications for treatment of hyperkalemia among pediatric critical care providers. *Pediatr Crit Care Med* 16(5):404–409. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000000384>
485. Howard-Quiano KJ, Stiegler MA, Huang YM, Canales C, Steadman RH (2010) Anesthesiology residents' performance of pediatric resuscitation during a simulated hyperkalemic cardiac arrest. *Anesthesiology* 112(4):983–997. <https://doi.org/10.1097/ALN.0b013e3181d31f8e>
486. Arnholt AM, Duval-Arnould JM, McNamara LM, Rosen MA, Singh K, Hunt EA (2015) Comparatively evaluating medication preparation sequences for treatment of hyperkalemia in pediatric cardiac arrest: a prospective, randomized, simulation-based study. *Pediatr Crit Care Med* 16(7):e224–e230. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000000497>
487. Lee J, Moffett BS (2016) Treatment of pediatric hyperkalemia with sodium polystyrene sulfonate. *Pediatr Nephrol* 31(11):2113–2117. <https://doi.org/10.1007/s00467-016-3414-5>
488. Abraham MB, Jones TW, Naranjo D et al (2018) ISPAD clinical practice consensus guidelines 2018: assessment and management of hypoglycemia in children and adolescents with diabetes. *Pediatr Diabetes* 19(Suppl 27):178–192. <https://doi.org/10.1111/pedi.12698>
489. Weston PJ, Harris DL, Battin M, Brown J, Hegarty JE, Harding JE (2016) Oral dextrose gel for the treatment of hypoglycaemia in newborn infants. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011027.pub2>
490. De Buck E, Borra V, Carlson JN, Zideman DA, Singletary EM, Djarv T (2019) First aid glucose administration routes for symptomatic hypoglycaemia. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013283.pub2>
491. Kim SY (2015) Endocrine and metabolic emergencies in children: hypocalcemia, hypoglycemia, adrenal insufficiency, and metabolic acidosis including diabetic ketoacidosis. *Ann Pediatr Endocrinol Metab* 20(4):179–186. <https://doi.org/10.6065/apem.2015.20.4.179>
492. Rostykus P, Kennel J, Adair K et al (2016) Variability in the treatment of prehospital hypoglycemia: a structured review of EMS protocols in the United States. *Prehosp Emerg Care* 20(4):524–530. <https://doi.org/10.3109/10903127.2015.1128031>
493. Remick K, Redgate C, Ostermayer D, Kaji AH, Gausche-Hill M (2017) Prehospital glucose testing for children with seizures: a proposed change in management. *Prehosp Emerg Care* 21(2):216–221. <https://doi.org/10.1080/10903127.2016.1218979>
494. Walsh BM, Gangadharan S, Whitfill T et al (2017) Safety threats during the care of infants with hypoglycemic seizures in the emergency department: a multicenter, simulation-based prospective cohort study. *J Emerg Med* 53(4):467–474e7. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2017.04.028>
495. Sherr JL, Ruedy KJ, Foster NC et al (2016) Glucagon nasal powder: a promising alternative to Intramuscular Glucagon in youth with type 1 diabetes. *Diabetes Care* 39(4):555–562. <https://doi.org/10.2337/dc15-1606>
496. Singletary EM, Zideman DA, Bendall JC et al (2020) 2020 international consensus on first aid science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A240–A282. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.09.016>
497. Lipman GS, Gaudio FG, Eifling KP, Ellis MA, Otten EM, Grissom CK (2019) Wilderness medical society clinical practice guidelines for the prevention and treatment of heat illness: 2019 update. *Wilderness Environ Med* 30(4S):S33–S46. <https://doi.org/10.1016/j.wem.2018.10.004>
498. Tate RC, Selde W (2013) Heat trap. How to treat vehicular hyperthermia in children. *JEMS* 38(7):36–38, 40, 42 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24159737>)
499. Rosenberg H, Pollock N, Schiemann A, Bulger T, Stowell K (2015) Malignant hyperthermia: a review. *Orphanet J Rare Dis* 10:93. <https://doi.org/10.1186/s13023-015-0310-1>
500. Jardine DS (2007) Heat illness and heat stroke. *Pediatr Rev* 28(7):249–258. <https://doi.org/10.1542/pir.28-7-249>
501. Nelson P, Litman RS (2014) Malignant hyperthermia in children: an analysis of the North American malignant hyperthermia registry. *Anesth Analg* 118(2):369–374. <https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e3182a8fad0>
502. Adato B, Dubnov-Raz G, Gips H, Heled Y, Epstein Y (2016) Fatal heat stroke in children found in parked cars: autopsy findings. *Eur J Pediatr* 175(9):1249–1252. <https://doi.org/10.1007/s00431-016-2751-5>
503. Natsume J, Hamano SI, Iyoda K et al (2017) New guidelines for management of febrile seizures in Japan. *Brain Dev* 39(1):2–9. <https://doi.org/10.1016/j.braindev.2016.06.003>
504. Glauser T, Shinnar S, Gloss D et al (2016) Evidence-based guideline: treatment of convulsive status epilepticus in children and adults: report of the guideline committee of the American Epilepsy Society. *Epilepsy Curr* 16(1):48–61. <https://doi.org/10.5698/1535-7597-16.1.48>
505. Health NSW Infants and children—acute management of seizures. New South Wales health. https://www1.health.nsw.gov.au/pds/ActivePDS/Documents/GL2018_015.pdf (Erstellt: 7. Juni 2018)
506. Li L, Zhang Y, Jia L et al (2020) Levetiracetam versus phenytoin for the treatment of established status epilepticus: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Seizure* 78:43–48. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2020.03.002>
507. Chen D, Bian H, Zhang L (2019) A meta-analysis of levetiracetam for randomized placebo-controlled trials in patients with refractory epilepsy. *Neuropsychiatr Dis Treat* 15:905–917. <https://doi.org/10.2147/NDT.S188111>
508. Sanchez Fernandez I, Gainza-Lein M, Lamb N, Lodenkemper T (2019) Meta-analysis and cost-effectiveness of second-line antiepileptic drugs for status epilepticus. *Neurology* 92(20):e2339–e2348. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000007503>
509. Brigo F, Bragazzi NL, Bacigaluppi S, Nardone R, Trinka E (2016) Is intravenous lorazepam really more effective and safe than intravenous diazepam as first-line treatment for convulsive status epilepticus? A systematic review with meta-analysis of randomized controlled trials. *Epilepsy*

- Behav 64(Pt A):29–36. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2016.09.020>
510. Ortiz de la Rosa JS, Ladino LD, Rodriguez PJ, Rueda MC, Polania JP, Castaneda AC (2018) Efficacy of lacosamide in children and adolescents with drug-resistant epilepsy and refractory status epilepticus: a systematic review. *Seizure* 56:34–40. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2018.01.014>
 511. Uppal P, Cardamone M, Lawson JA (2018) Outcomes of deviation from treatment guidelines in status epilepticus: a systematic review. *Seizure* 58:147–153. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2018.04.005>
 512. Au CC, Branco RG, Tasker RC (2017) Management protocols for status epilepticus in the pediatric emergency room: systematic review article. *J Pediatr* 93(Suppl 1):84–94. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2017.08.004>
 513. Zhao ZY, Wang HY, Wen B, Yang ZB, Feng K, Fan JC (2016) A comparison of Midazolam, Lorazepam, and diazepam for the treatment of status epilepticus in children: a network meta-analysis. *J Child Neurol* 31(9):1093–1107. <https://doi.org/10.1177/0883073816638757>
 514. Trinka E, Hofler J, Zerbs A, Brigo F (2014) Efficacy and safety of intravenous valproate for status epilepticus: a systematic review. *CNS Drugs* 28(7):623–639. <https://doi.org/10.1007/s40263-014-0167-1>
 515. Strzelczyk A, Zollner JP, Willems LM et al (2017) Lacosamide in status epilepticus: systematic review of current evidence. *Epilepsia* 58(6):933–950. <https://doi.org/10.1111/epi.13716>
 516. Jain P, Sharma S, Dua T, Barbui C, Das RR, Aneja S (2016) Efficacy and safety of anti-epileptic drugs in patients with active convulsive seizures when no IV access is available: systematic review and meta-analysis. *Epilepsy Res* 122:47–55. <https://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2016.02.006>
 517. McTague A, Martland T, Appleton R (2018) Drug management for acute tonic-clonic convulsions including convulsive status epilepticus in children. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001905.pub3>
 518. Alshehri A, Abulaban A, Bokhari Ret al (2017) Intravenous versus nonintravenous benzodiazepines for the cessation of seizures: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Acad Emerg Med* 24(7):875–883. <https://doi.org/10.1111/acem.13190>
 519. Sanchez Fernandez I, Goodkin HP, Scott RC (2019) Pathophysiology of convulsive status epilepticus. *Seizure* 68:16–21. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2018.08.002>
 520. Ciccone O, Mathews M, Birbeck GL (2017) Management of acute seizures in children: a review with special consideration of care in resource-limited settings. *Afr J Emerg Med* 7(Suppl):S3–S9. <https://doi.org/10.1016/j.afjem.2017.09.003>
 521. Silverman EC, Sporer KA, Lemieux JM et al (2017) Prehospital care for the adult and pediatric seizure patient: current evidence-based recommendations. *West J Emerg Med* 18(3):419–436. <https://doi.org/10.5811/westjem.2016.12.32066>
 522. Lawton B, Davis T, Goldstein H, Tagg A (2018) An update in the initial management of paediatric status epilepticus. *Curr Opin Pediatr* 30(3):359–363. <https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000616>
 523. Stredny CM, Abend NS, Lodenkemper T (2018) Towards acute pediatric status epilepticus intervention teams: do we need “Seizure Codes”? *Seizure* 58:133–140. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2018.04.011>
 524. Smith DM, McGinnis EL, Walleigh DJ, Abend NS (2016) Management of status epilepticus in children. *J Clin Med*. <https://doi.org/10.3390/jcm5040047>
 525. Kapur J, Elm J, Chamberlain JM et al (2019) Randomized trial of three anticonvulsant medications for status epilepticus. *N Engl J Med* 381(22):2103–2113. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1905795>
 526. Alansari K, Barkat M, Mohamed AH, Al Jawala SA, Othman SA (2020) Intramuscular versus buccal midazolam for pediatric seizures: a randomized double-blinded trial. *Pediatr Neurol* 109:28–34. <https://doi.org/10.1016/j.pediatrneurol.2020.03.011>
 527. Vignesh V, Rameshkumar R, Mahadevan S (2020) Comparison of Phenytoin, Valproate and Levetiracetam in pediatric convulsive status Epilepticus: a randomized double-blind controlled clinical trial. *Indian Pediatr* 57(3):222–227 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32198861>)
 528. Chamberlain JM, Kapur J, Shinnar S et al (2020) Efficacy of levetiracetam, fosphenytoin, and valproate for established status epilepticus by age group (ESETT): a double-blind, responsive-adaptive, randomised controlled trial. *Lancet* 395(10231):1217–1224. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30611-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30611-5)
 529. Chamberlain DB, Chamberlain JM (2017) Making sense of a negative clinical trial result: a Bayesian analysis of a clinical trial of lorazepam and diazepam for pediatric status epilepticus. *Ann Emerg Med* 69(1):117–124. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2016.08.449>
 530. Portela JL, Garcia PC, Piva JP et al (2015) Intramuscular midazolam versus intravenous diazepam for treatment of seizures in the pediatric emergency department: a randomized clinical trial. *Med Intensiva* 39(3):160–166. <https://doi.org/10.1016/j.medin.2014.04.003>
 531. Singh K, Aggarwal A, Faridi MMA, Sharma S (2018) IV Levetiracetam versus IV phenytoin in childhood seizures: a randomized controlled trial. *J Pediatr Neurosci* 13(2):158–164. https://doi.org/10.4103/jpn.JPN_126_17
 532. Khajeh A, Yaghoubinia F, Yaghoubi S, Fayyazi A, Miri Aliabad G (2018) Comparison of the effect of phenobarbital versus sodium Valproate in management of children with status epilepticus. *Iran J Child Neurol* 12(4):85–93 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30279711>)
 533. Lyttle MD, Rainford NEA, Gamble C et al (2019) Levetiracetam versus phenytoin for second-line treatment of paediatric convulsive status epilepticus (ECLIPSE): a multicentre, open-label, randomised trial. *Lancet* 393(10186):2125–2134. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)30724-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)30724-X)
 534. Birbeck GL, Herman ST, Capparelli EV et al (2019) A clinical trial of enteral Levetiracetam for acute seizures in pediatric cerebral malaria. *BMC Pediatr* 19(1):399. <https://doi.org/10.1186/s12887-019-1766-2>
 535. Wani G, Imran A, Dhawan N, Gupta A, Giri JI (2019) Levetiracetam versus phenytoin in children with status epilepticus. *J Family Med Prim Care* 8(10):3367–3371. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_750_19
 536. Silbergleit R, Elm JJ (2019) Levetiracetam no better than phenytoin in children with convulsive status epilepticus. *Lancet* 393(10186):2101–2102. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)30896-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)30896-7)
 537. Momen AA, Azizi Malamiri R, Nikkha A et al (2015) Efficacy and safety of intramuscular midazolam versus rectal diazepam in controlling status epilepticus in children. *Eur J Paediatr Neurol* 19(2):149–154. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2014.11.007>
 538. Welch RD, Nicholas K, Durkalski-Mauldin VL et al (2015) Intramuscular midazolam versus intravenous lorazepam for the prehospital treatment of status epilepticus in the pediatric population. *Epilepsia* 56(2):254–262. <https://doi.org/10.1111/epi.12905>
 539. Burman RJ, Ackermann S, Shapson-Coe A, Ndong A, Buys H, Wilmschurst JM (2019) A comparison of parenteral phenobarbital vs. parenteral phenytoin as second-line management for pediatric convulsive status Epilepticus in a resource-limited setting. *Front Neurol* 10:506. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00506>
 540. Noureen N, Khan S, Khurshheed A et al (2019) Clinical efficacy and safety of injectable levetiracetam versus phenytoin as second-line therapy in the management of generalized convulsive status Epilepticus in children: an open-label randomized controlled trial. *J Clin Neurol* 15(4):468–472. <https://doi.org/10.3988/jcn.2019.15.4.468>
 541. Dalziel SR, Borland ML, Furry J et al (2019) Levetiracetam versus phenytoin for second-line treatment of convulsive status epilepticus in children (ConSEPT): an open-label, multicentre, randomised controlled trial. *Lancet* 393(10186):2135–2145. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)30722-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)30722-6)
 542. Chiarello D, Duranti F, Lividini A et al (2020) Clinical characterization of status epilepticus in childhood: a retrospective study in 124 patients. *Seizure* 78:127–133. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2020.03.019>
 543. Wang T, Wang J, Dou Y et al (2020) Clinical characteristics and prognosis in a large paediatric cohort with status epilepticus. *Seizure* 80:5–11. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2020.04.001>
 544. Sanchez Fernandez I, Abend NS, Agadi S et al (2015) Time from convulsive status epilepticus onset to anticonvulsant administration in children. *Neurology* 84(23):2304–2311. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000001673>
 545. Lee YJ, Yum MS, Kim EH, Ko TS (2016) Intravenous levetiracetam versus phenobarbital in children with status epilepticus or acute repetitive seizures. *Korean J Pediatr* 59(1):35–39. <https://doi.org/10.3345/kjp.2016.59.1.35>
 546. Inceci F, Horoz OO, Herguner OM et al (2016) Intravenous levetiracetam in critically ill children. *Ann Indian Acad Neurol* 19(1):79–82. <https://doi.org/10.4103/0972-2327.167702>
 547. Johnson PN, Nguyen A, Neely SB, Johnson M (2017) Intramuscular Lorazepam for status epilepticus in children with complex medical and physical disabilities. *Ann Pharmacother* 51(8):656–662. <https://doi.org/10.1177/1060028017706522>
 548. Santhanam I, Yoganathan S, Sivakumar VA, Ramakrishnamurugan R, Sathish S, Thandavarayan M (2017) Predictors of outcome in children with status epilepticus during resuscitation in pediatric emergency department: a retrospective observational study. *Ann Indian Acad Neurol* 20(2):142–148. https://doi.org/10.4103/aiian.AIAN_369_16
 549. Nishiyama M, Nagase H, Tomioka K et al (2018) Fosphenytoin vs. continuous midazolam for pediatric febrile status epilepticus. *Brain Dev* 40(10):884–890. <https://doi.org/10.1016/j.braindev.2018.08.001>
 550. Ulusoy E, Duman M, Turker HD et al (2019) The effect of early midazolam infusion on the duration of pediatric status epilepticus patients. *Seizure*

- 71:50–55. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2019.06.011>
551. Theusinger OM, Schenk P, Dette-Oltmann K, Mariotti S, Baulig W (2019) Treatment of seizures in children and adults in the emergency medical system of the city of Zurich, Switzerland—Midazolam vs. Diazepam—a retrospective analysis. *J Emerg Med* 57(3):345–353. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2019.05.036>
552. Tasker RC, Goodkin HP, Sanchez Fernandez I et al (2016) Refractory status epilepticus in children: intention to treat with continuous infusions of Midazolam and pentobarbital. *Pediatr Crit Care Med* 17(10):968–975. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000000900>
553. Shtull-Leber E, Silbergleit R, Meurer WJ (2017) Pre-hospital midazolam for benzodiazepine-treated seizures before and after the rapid anticonvulsant medication prior to arrival trial: a national observational cohort study. *Plos One* 12(3):e173539. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173539>
554. Gurcharran K, Grinspan ZM (2019) The burden of pediatric status epilepticus: epidemiology, morbidity, mortality, and costs. *Seizure* 68:3–8. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2018.08.021>
555. Isguder R, Guzel O, Ceylan G, Yilmaz U, Agin H (2016) A comparison of intravenous levetiracetam and valproate for the treatment of refractory status epilepticus in children. *J Child Neurol* 31(9):1120–1126. <https://doi.org/10.1177/0883073816641187>
556. Olasveengen TM, Mancini ME, Perkins GD et al (2020) Adult basic life support: international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A35–A79. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.09.010>
557. Zhan L, Yang LJ, Huang Y, He Q, Liu GJ (2017) Continuous chest compression versus interrupted chest compression for cardiopulmonary resuscitation of non-asphyxial out-of-hospital cardiac arrest. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010134.pub2>
558. Maeda T, Yamashita A, Myojo Y, Wato Y, Inaba H (2016) Augmented survival of out-of-hospital cardiac arrest victims with the use of mobile phones for emergency communication under the DA-CPR protocol getting information from callers beside the victim. *Resuscitation* 107:80–87. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.08.010>
559. Steensberg AT, Eriksen MM, Andersen LB et al (2017) Bystander capability to activate speaker function for continuous dispatcher assisted CPR in case of suspected cardiac arrest. *Resuscitation* 115:52–55. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.04.002>
560. Mortensen RB, Hoyer CB, Pedersen MK, Brindley PG, Nielsen JC (2010) Comparison of the quality of chest compressions on a dressed versus an undressed manikin: a controlled, randomised, cross-over simulation study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 18:16. <https://doi.org/10.1186/1757-7241-18-16>
561. Birkenes TS, Myklebust H, Kramer-Johansen J (2013) Time delays and capability of elderly to activate speaker function for continuous telephone CPR. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 21:40. <https://doi.org/10.1186/1757-7241-21-40>
562. Eisenberg Chavez D, Meischke H, Painter I, Rea TD (2013) Should dispatchers instruct lay bystanders to undress patients before performing CPR? A randomized simulation study. *Resuscitation* 84(7):979–981. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.12.010>
563. Tobin JM, Ramos WD, Greenshields J et al (2020) Outcome of conventional bystander cardiopulmonary resuscitation in cardiac arrest following drowning. *Prehosp Disaster med* 35(2):141–147. <https://doi.org/10.1017/S1049023X20000060>
564. Naim MY, Burke RV, McNally BF et al (2017) Association of bystander cardiopulmonary resuscitation with overall and neurologically favorable survival after pediatric out-of-hospital cardiac arrest in the United States: a report from the cardiac arrest registry to enhance survival surveillance registry. *JAMA Pediatr* 171(2):133–141. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2016.3643>
565. Fukuda T, Ohashi-Fukuda N, Kobayashi H et al (2016) Conventional versus compression-only versus no-bystander cardiopulmonary resuscitation for pediatric out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation* 134(25):2060–2070. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.116.023831>
566. Sutton RM, Reeder RW, Landis WP et al (2019) Ventilation rates and pediatric in-hospital cardiac arrest survival outcomes. *Crit Care Med* 47(11):1627–1636. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003898>
567. Derkenne C, Jost D, Thabouillot O et al (2020) Improving emergency call detection of out-of-hospital cardiac arrests in the greater Paris area: efficiency of a global system with a new method of detection. *Resuscitation* 146:34–42. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.10.038>
568. Donoghue AJ, Kou M, Good GL et al (2020) Impact of personal protective equipment on pediatric cardiopulmonary resuscitation performance: a controlled trial. *Pediatr Emerg Care* 36(6):267–273. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000002109>
569. DeMaio VJ, Osmond MH, Stiell IG et al (2012) Epidemiology of out-of-hospital pediatric cardiac arrest due to trauma. *Prehosp Emerg Care* 16(2):230–236. <https://doi.org/10.3109/10903127.2011.640419>
570. Vassallo J, Webster M, Barnard EBG, Lyttle MD, Smith JE, Peruki (2019) Epidemiology and aetiology of paediatric traumatic cardiac arrest in England and Wales. *Arch Dis Child* 104(5):437–443. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2018-314985>
571. Deasy C, Bray J, Smith K et al (2012) Paediatric traumatic out-of-hospital cardiac arrests in Melbourne, Australia. *Resuscitation* 83(4):471–475. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2011.11.009>
572. Barnard EBG, Sandbach DD, Nicholls TL, Wilson AW, Ercole A (2019) Prehospital determinants of successful resuscitation after traumatic and non-traumatic out-of-hospital cardiac arrest. *Emerg Med Clin North Am* 36(6):333–339. <https://doi.org/10.1136/emered-2018-208165>
573. Lu CH, Fang PH, Lin CH (2019) Dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation for traumatic patients with out-of-hospital cardiac arrest. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 27(1):97. <https://doi.org/10.1186/s13049-019-0679-2>
574. Balhara KS, Bustamante ND, Selvam A et al (2019) Bystander assistance for trauma victims in low- and middle-income countries: a systematic review of prevalence and training interventions. *Prehosp Emerg Care* 23(3):389–410. <https://doi.org/10.1080/10903127.2018.1513104>
575. Lin CH, Chiang WC, Ma MH, Wu SY, Tsai MC, Chi CH (2013) Use of automated external defibrillators in patients with traumatic out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 84(5):586–591. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.09.028>
576. Tibballs J, Weeraratna C (2010) The influence of time on the accuracy of healthcare personnel to diagnose paediatric cardiac arrest by pulse palpation. *Resuscitation* 81(6):671–675. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2010.01.030> (In Eng)
577. O'Connell KJ, Keane RR, Cochrane NH et al (2019) Pauses in compressions during pediatric CPR: Opportunities for improving CPR quality. *Resuscitation* 145:158–165. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.08.015>
578. Donoghue A, Berg RA, Hazinski MF, Praestgaard AH, Roberts K, Nadkarni VM (2009) Cardiopulmonary resuscitation for bradycardia with poor perfusion versus pulseless cardiac arrest. *Pediatrics* 124(6):1541–1548. <https://doi.org/10.1542/peds.2009-0727> (In eng)
579. Considine J, Gazmuri RJ, Perkins GD et al (2020) Chest compression components (rate, depth, chest wall recoil and leaning): a scoping review. *Resuscitation* 146:188–202. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.08.042>
580. Manrique G, Gonzalez A, Iguiniz M et al (2020) Quality of chest compressions during pediatric resuscitation with 15:2 and 30:2 compressions-to-ventilation ratio in a simulated scenario. *Sci Rep* 10(1):6828. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63921-9>
581. Gregson RK, Cole TJ, Skellett S, Bagkeris E, Welsby D, Peters MJ (2017) Randomised crossover trial of rate feedback and force during chest compressions for paediatric cardiopulmonary resuscitation. *Arch Dis Child* 102(5):403–409. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2016-310691>
582. Kandasamy J, Theobald PS, Maconochie IK, Jones MD (2019) Can real-time feedback improve the simulated infant cardiopulmonary resuscitation performance of basic life support and lay rescuers? *Arch Dis Child* 104(8):793–801. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2018-316576>
583. Cheng A, Hunt EA, Grant D et al (2015) Variability in quality of chest compressions provided during simulated cardiac arrest across nine pediatric institutions. *Resuscitation* 97:13–19. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.08.024>
584. Zimmerman E, Cohen N, Maniaci V, Pena B, Lozano JM, Linares M (2015) Use of a metronome in cardiopulmonary resuscitation: a simulation study. *Pediatrics* 136(5):905–911. <https://doi.org/10.1542/peds.2015-1858>
585. Lin Y, Cheng A, Grant VJ, Currie GR, Hecker KG (2018) Improving CPR quality with distributed practice and real-time feedback in pediatric healthcare providers—a randomized controlled trial. *Resuscitation* 130:6–12. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.06.025>
586. Haque IU, Udassi JP, Udassi S, Theriaque DW, Shuster JJ, Zaritsky AL (2008) Chest compression quality and rescuer fatigue with increased compression to ventilation ratio during single rescuer pediatric CPR. *Resuscitation* 79(1):82–89. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2008.04.026> (In eng)
587. Sutton RM, Reeder RW, Landis W et al (2018) Chest compression rates and pediatric in-hospital cardiac arrest survival outcomes. *Resuscitation* 130:159–166. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.07.015>
588. Braga MS, Dominguez TE, Pollock AN et al (2009) Estimation of optimal CPR chest compression depth in children by using computer tomography. *Pediatrics* 124(1):e69–74. <https://doi.org/10.1542/peds.2009-0153> (In eng)

589. Kao PC, Chiang WC, Yang CW et al (2009) What is the correct depth of chest compression for infants and children? A radiological study. *Pediatrics* 124(1):49–55. <https://doi.org/10.1542/peds.2008-2536> (In eng)
590. Skogvoll E, Nordseth T, Sutton RM et al (2020) Factors affecting the course of resuscitation from cardiac arrest with pulseless electrical activity in children and adolescents. *Resuscitation* 152:116–122. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.05.013>
591. Lin CY, Hsia SH, Lee EP, Chan OW, Lin JJ, Wu HP (2020) Effect of audiovisual cardiopulmonary resuscitation feedback device on improving chest compression quality. *Sci Rep* 10(1):398. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57320-y>
592. Donoghue AJ, Myers S, Kerrey B et al (2020) Analysis of CPR quality by individual providers in the pediatric emergency department. *Resuscitation* 153:37–44. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.05.026>
593. Jones SI, Jeffers JM, Perretta J et al (2020) Closing the gap: optimizing performance to reduce interruptions in cardiopulmonary resuscitation. *Pediatr Crit Care Med* 21(9):e592–e598. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000002345>
594. Rodriguez SA, Sutton RM, Berg MD et al (2014) Simplified dispatcher instructions improve bystander chest compression quality during simulated pediatric resuscitation. *Resuscitation* 85(1):119–123. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2013.09.003>
595. Kim YH, Lee JH, Cho KW et al (2018) Verification of the optimal chest compression depth for children in the 2015 American Heart Association guidelines: computed tomography study. *Pediatr Crit Care Med* 19(1):e1–e6. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001369>
596. Austin AL, Spalding CN, Landa KN et al (2020) A randomized control trial of cardiopulmonary feedback devices and their impact on infant chest compression quality: a simulation study. *Pediatr Emerg Care* 36(2):e79–e84. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000001312>
597. Enriquez D, Firenze L, Fernandez Diaz J et al (2018) Changes in the depth of chest compressions during cardiopulmonary resuscitation in a pediatric simulator. *Arch Argent Pediatr* 116(6):e730–e735. <https://doi.org/10.5546/aap.2018.eng.e730>
598. Oh JH, Kim SE, Kim CW, Lee DH (2015) Should we change chest compression providers every 2 min when performing one-handed chest compressions? *Emerg Med Australas* 27(2):108–112. <https://doi.org/10.1111/1742-6723.12364>
599. Niles DE, Nishisaki A, Sutton RM et al (2017) Improved retention of chest compression psychomotor skills with brief “rolling refresher” training. *Simul Healthc* 12(4):213–219. <https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000228>
600. Morgan RW, Landis WP, Marquez A et al (2019) Hemodynamic effects of chest compression interruptions during pediatric in-hospital cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 139:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.03.032>
601. Dezfulian C, Fink EL (2018) How bad is it to fail at pushing hard and fast in pediatric cardiopulmonary resuscitation? *Pediatr Crit Care Med* 19(5):495–496. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001529>
602. Kim MJ, Lee HS, Kim S, Park YS (2015) Optimal chest compression technique for paediatric cardiac arrest victims. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 23:36. <https://doi.org/10.1186/s13049-015-0118-y>
603. Mayrand KP, Fischer EJ, Ten Eyck RP (2015) A simulation-based randomized controlled study of factors influencing chest compression depth. *West J Emerg Med* 16(7):1135–1140. <https://doi.org/10.5811/westjem.2015.9.28167>
604. Millin MG, Bogumil D, Fishe JN, Burke RV (2020) Comparing the two-finger versus two-thumb technique for single person infant CPR: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 148:161–172. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.12.039>
605. Lee JE, Lee J, Oh J et al (2019) Comparison of two-thumb encircling and two-finger technique during infant cardiopulmonary resuscitation with single rescuer in simulation studies: A systematic review and meta-analysis. *Medicine* 98(45):e17853. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000017853>
606. Douvanas A, Koulouglioti C, Kalafati M (2018) A comparison between the two methods of chest compression in infant and neonatal resuscitation. A review according to 2010 CPR guidelines. *J Matern Fetal Neonatal Med* 31(6):805–816. <https://doi.org/10.1080/14767058.2017.1295953>
607. Lee KH, Kim EY, Park DH et al (2013) Evaluation of the 2010 American Heart Association Guidelines for infant CPR finger/thumb positions for chest compression: a study using computed tomography. *Resuscitation* 84(6):766–769. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.11.005> (In eng)
608. Lee SH, Cho YC, Ryu S et al (2011) A comparison of the area of chest compression by the superimposed-thumb and the alongside-thumb techniques for infant cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 82(9):1214–1217. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2011.04.016>
609. Park M, Oh WS, Chon SB, Cho S (2018) Optimum chest compression point for cardiopulmonary resuscitation in children revisited using a 3D coordinate system imposed on CT: a retrospective, cross-sectional study. *Pediatr Crit Care Med* 19(11):e576–e584. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001679>
610. Jang HY, Wolfe H, Hsieh TC et al (2018) Infant chest compression quality: a video-based comparison of two-thumb versus one-hand technique in the emergency department. *Resuscitation* 122:36–40. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.11.044>
611. Lim JS, Cho Y, Ryu S et al (2013) Comparison of overlapping (OP) and adjacent thumb positions (AP) for cardiac compressions using the encircling method in infants. *Emerg Med Clin North Am* 30(2):139–142. <https://doi.org/10.1136/emered-2011-200978> (In eng)
612. Jung JY, Kwak YH, Kwon H et al (2017) Effectiveness of finger-marker for maintaining the correct compression point during paediatric resuscitation: a simulation study. *Am J Emerg Med* 35(9):1303–1308. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2017.04.003>
613. Jiang J, Zou Y, Shi W et al (2015) Two-thumb-encircling hands technique is more advisable than 2-finger technique when lone rescuer performs cardiopulmonary resuscitation on infant manikin. *Am J Emerg Med* 33(4):531–534. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2015.01.025>
614. Yang D, Kim KH, Oh JH, Son S, Cho J, Seo KM (2019) Development and evaluation of a new chest compression technique for cardiopulmonary resuscitation in infants. *Pediatr Cardiol* 40(6):1217–1223. <https://doi.org/10.1007/s00246-019-02135-x>
615. Ladny JR, Smereka J, Rodriguez-Nunez A, Leung S, Ruetzler K, Szarpak L (2018) Is there any alternative to standard chest compression techniques in infants? A randomized manikin trial of the new “2-thumb-fist” option. *Medicine* 97(5):e9386. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000009386>
616. Rodriguez-Ruiz E, Martinez-Puga A, Carballo-Fazanes A, Abelairas-Gomez C, Rodriguez-Nunez A (2019) Two new chest compression methods might challenge the standard in a simulated infant model. *Eur J Pediatr* 178(10):1529–1535. <https://doi.org/10.1007/s00431-019-03452-2>
617. Rodriguez-Ruiz E, Guerra MV, Abelairas-Gomez C et al (2019) A new chest compression technique in infants. *Med Intensiva* 43(6):346–351. <https://doi.org/10.1016/j.medint.2018.04.010>
618. Jo CH, Cho GC, Lee CH (2017) Two-thumb encircling technique over the head of patients in the setting of lone rescuer infant CPR occurred during ambulance transfer: a crossover simulation study. *Pediatr Emerg Care* 33(7):462–466. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000000833>
619. Na JU, Choi PC, Lee HJ, Shin DH, Han SK, Cho JH (2015) A vertical two-thumb technique is superior to the two-thumb encircling technique for infant cardiopulmonary resuscitation. *Acta Paediatr* 104(2):e70–e75. <https://doi.org/10.1111/apa.12857>
620. Pellegrino JL, Bogumil D, Epstein JL, Burke RV (2019) Two-thumb-encircling advantageous for lay responder infant CPR: a randomised manikin study. *Arch Dis Child* 104(6):530–534. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2018-314893>
621. Tsou JY, Kao CL, Chang CJ, Tu YF, Su FC, Chi CH (2020) Biomechanics of two-thumb versus two-finger chest compression for cardiopulmonary resuscitation in an infant manikin model. *Eur J Emerg Med* 27(2):132–136. <https://doi.org/10.1097/MEJ.0000000000000631>
622. Kim YS, Oh JH, Kim CW, Kim SE, Lee DH, Hong JY (2016) Which fingers should we perform two-finger chest compression technique with when performing cardiopulmonary resuscitation on an infant in cardiac arrest? *J Korean Med Sci* 31(6):997–1002. <https://doi.org/10.3346/jkms.2016.31.6.997>
623. Nasiri E, Nasiri R (2014) A comparison between over-the-head and lateral cardiopulmonary resuscitation with a single rescuer by bag-valve mask. *Saudi J Anaesth* 8(1):30–37. <https://doi.org/10.4103/1658-354X.125923>
624. Cheong SA, Oh JH, Kim CW, Kim SE, Lee DH (2015) Effects of alternating hands during in-hospital one-handed chest compression: a randomised cross-over manikin trial. *Emerg Med Australas* 27(6):567–572. <https://doi.org/10.1111/1742-6723.12492>
625. Oh JH, Kim CW, Kim SE, Lee DH, Lee SJ (2015) One-handed chest compression technique for paediatric cardiopulmonary resuscitation: dominant versus non-dominant hand. *Emerg Med Clin North Am* 32(7):544–546. <https://doi.org/10.1136/emered-2014-203932>
626. Lee SY, Hong JY, Oh JH, Son SH (2018) The superiority of the two-thumb over the two-finger technique for single-rescuer infant cardiopulmonary resuscitation. *Eur J Emerg Med* 25(5):372–376. <https://doi.org/10.1097/MEJ.0000000000000461>
627. Lee SS, Lee SD, Oh JH (2019) Comparison between modified and conventional one-handed chest compression techniques for child cardiopulmonary resuscitation: A randomised, non-blind, cross-over simulation trial. *J Paediatr Child Health*

- 55(11):1361–1366. <https://doi.org/10.1111/jpc.14422>
628. Kherbeche H, Exer N, Schuhwerk W, Ummenhofer W, Osterwalder J (2017) Chest compression using the foot or hand method: a prospective, randomized, controlled manikin study with school children. *Eur J Emerg Med* 24(4):262–267. <https://doi.org/10.1097/MEJ.0000000000000335>
629. Smereka J, Szarpak L, Ladny JR, Rodriguez-Nunez A, Ruetzler K (2018) A novel method of newborn chest compression: a randomized crossover simulation study. *Front Pediatr* 6:159. <https://doi.org/10.3389/fped.2018.00159>
630. Park JW, Jung JY, Kim J et al (2019) A novel infant chest compression assist device using a palm rather than fingers: a randomized crossover trial. *Prehosp Emerg Care* 23(1):74–82. <https://doi.org/10.1080/10903127.2018.1471559>
631. Jung WJ, Hwang SO, Kim HI et al (2019) 'Knocking-fingers' chest compression technique in infant cardiac arrest: single-rescuer manikin study. *Eur J Emerg Med* 26(4):261–265. <https://doi.org/10.1097/MEJ.0000000000000539>
632. Smereka J, Szarpak L, Rodriguez-Nunez A, Ladny JR, Leung S, Ruetzler K (2017) A randomized comparison of three chest compression techniques and associated hemodynamic effect during infant CPR: a randomized manikin study. *Am J Emerg Med* 35(10):1420–1425. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2017.04.024>
633. Lopez-Herce J, Almonte E, Alvarado M et al (2018) Latin American consensus for pediatric cardiopulmonary resuscitation 2017: latin American pediatric critical care society pediatric cardiopulmonary resuscitation committee. *Pediatr Crit Care Med* 19(3):e152–e156. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001427>
634. Rossano JW, Jones WE, Lerakis S et al (2015) The use of automated external defibrillators in infants: a report from the American red cross scientific advisory council. *Pediatr Emerg Care* 31(7):526–530. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000000490>
635. Hoyt WJ Jr., Fish FA, Kannankeril PJ (2019) Automated external defibrillator use in a previously healthy 31-day-old infant with out-of-hospital cardiac arrest due to ventricular fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol* 30(11):2599–2602. <https://doi.org/10.1111/jce.14125>
636. Johnson MA, Graham BJ, Haukoos JS et al (2014) Demographics, bystander CPR, and AED use in out-of-hospital pediatric arrests. *Resuscitation* 85(7):920–926. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.03.044>
637. Mitani Y, Ohta K, Yodoya N et al (2013) Public access defibrillation improved the outcome after out-of-hospital cardiac arrest in school-age children: a nationwide, population-based, Utstein registry study in Japan. *Europace* 15(9):1259–1266. <https://doi.org/10.1093/europace/eut053>
638. Swor R, Grace H, McGovern H, Weiner M, Walton E (2013) Cardiac arrests in schools: assessing use of automated external defibrillators (AED) on school campuses. *Resuscitation* 84(4):426–429. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.09.014>
639. Nagata T, Abe T, Noda E, Hasegawa M, Hashizume M, Hagihara A (2014) Factors associated with the clinical outcomes of paediatric out-of-hospital cardiac arrest in Japan. *Bmj Open* 4(2):e3481. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2013-003481>
640. Hunt EA, Duval-Arnould JM, Bembea MM et al (2018) Association between time to Defibrillation and survival in pediatric in-hospital cardiac arrest with a first documented Shockable rhythm. *JAMA Netw Open* 1(5):e182643. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2018.2643>
641. Tsuda T, Geary EM, Temple J (2019) Significance of automated external defibrillator in identifying lethal ventricular arrhythmias. *Eur J Pediatr* 178(9):1333–1342. <https://doi.org/10.1007/s00431-019-03421-9>
642. El-Assaad I, Al-Kindi SG, McNally B et al (2018) Automated external defibrillator application before EMS arrival in pediatric cardiac arrests. *Pediatrics*. <https://doi.org/10.1542/peds.2017-1903>
643. Goto Y, Funada A, Goto Y (2016) Subsequent Shockable rhythm during out-of-hospital cardiac arrest in children with initial non-Shockable rhythms: a nationwide population-based observational study. *JAHA*. <https://doi.org/10.1161/JAHA.116.003589>
644. Pundi KN, Bos JM, Cannon BC, Ackerman MJ (2015) Automated external defibrillator rescues among children with diagnosed and treated long QT syndrome. *Heart Rhythm* 12(4):776–781. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2015.01.002>
645. Griffis H, Wu L, Naim MY et al (2020) Characteristics and outcomes of AED use in pediatric cardiac arrest in public settings: the influence of neighborhood characteristics. *Resuscitation* 146:126–131. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.09.038>
646. Rehn M, Hyldmo PK, Magnusson V et al (2016) Scandinavian SSAI clinical practice guideline on pre-hospital airway management. *Acta Anaesthesiol Scand* 60(7):852–864. <https://doi.org/10.1111/aas.12746>
647. Borra V, Avau B, De Paepe P, Vandekerckhove P, De Buck E (2019) Is placing a victim in the left lateral decubitus position an effective first aid intervention for acute oral poisoning? A systematic review. *Clin Toxicol* 57(7):603–616. <https://doi.org/10.1080/15563650.2019.1574975>
648. Hyldmo PK, Vist GE, Feyling AC et al (2015) Is the supine position associated with loss of airway patency in unconscious trauma patients? A systematic review and meta-analysis. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 23:50. <https://doi.org/10.1186/s13049-015-0116-0>
649. Hyldmo PK, Vist GE, Feyling AC et al (2015) Does turning trauma patients with an unstable spinal injury from the supine to a lateral position increase the risk of neurological deterioration?—A systematic review. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 23:65. <https://doi.org/10.1186/s13049-015-0143-x>
650. Freire-Tellado M, Navarro-Paton R, Pavon-Prieto MDP, Fernandez-Lopez M, Mateos-Lorenzo J, Lopez-Forneas I (2017) Does lying in the recovery position increase the likelihood of not delivering cardiopulmonary resuscitation? *Resuscitation* 115:173–177. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.03.008>
651. Navarro-Paton R, Freire-Tellado M, Fernandez-Gonzalez N, Basanta-Camino S, Mateos-Lorenzo J, Lago-Ballesteros J (2019) What is the best position to place and re-evaluate an unconscious but normally breathing victim? A randomised controlled human simulation trial on children. *Resuscitation* 134:104–109. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.10.030>
652. Fukushima H, Imanishi M, Iwami T et al (2015) Abnormal breathing of sudden cardiac arrest victims described by laypersons and its association with emergency medical service dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation instruction. *Emerg Med Clin North Am* 32(4):314–317. <https://doi.org/10.1136/emered-2013-203112>
653. Hyldmo PK, Horodyski M, Conrad BP et al (2017) Does the novel lateral trauma position cause more motion in an unstable cervical spine injury than the logroll maneuver? *Am J Emerg Med* 35(11):1630–1635. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2017.05.002>
654. Hyldmo PK, Horodyski MB, Conrad BP et al (2016) Safety of the lateral trauma position in cervical spine injuries: a cadaver model study. *Acta Anaesthesiol Scand* 60(7):1003–1011. <https://doi.org/10.1111/aas.12714>
655. Jullian S, Desmarest M, Gonzalez L et al (2016) Recovery position significantly associated with a reduced admission rate of children with loss of consciousness. *Arch Dis Child* 101(6):521–526. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2015-308857>
656. Del Rossi G, Dubose D, Scott N et al (2014) Motion produced in the unstable cervical spine by the HAINES and lateral recovery positions. *Prehosp Emerg Care* 18(4):539–543. <https://doi.org/10.3109/10903127.2014.916019>
657. Cheng J, Liu B, Farjat AE, Routh J (2019) National estimations of airway foreign bodies in children in the United States, 2000 to 2009. *Clin Otolaryngol* 44(3):235–239. <https://doi.org/10.1111/coa.13261>
658. Redding JS (1979) The choking controversy: critique of evidence on the Heimlich maneuver. *Crit Care Med* 7(10):475–479 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/477356>)
659. Langhelle A, Sundt K, Wik L, Steen PA (2000) Airway pressure with chest compressions versus Heimlich manoeuvre in recently dead adults with complete airway obstruction. *Resuscitation* 44(2):105–108
660. Vilke GM, Smith AM, Ray LU, Steen PJ, Murrin PA, Chan TC (2004) Airway obstruction in children aged less than 5 years: the prehospital experience. *Prehosp Emerg Care* 8(2):196–199
661. Heimlich HJ, Patrick EA (1990) The Heimlich maneuver. Best technique for saving any choking victim's life. *Postgrad Med* 87(6):38–48, 53. <https://doi.org/10.1080/00325481.1990.11716329>
662. Chillag S, Krieg J, Bhargava R (2010) The Heimlich maneuver: breaking down the complications. *South Med J* 103(2):147–150. <https://doi.org/10.1097/SMJ.0b013e3181c99140>
663. Dunne CL, Peden AE, Queiroga AC, Gomez Gonzalez C, Valesco B, Szpilman D (2020) A systematic review on the effectiveness of anti-choking suction devices and identification of research gaps. *Resuscitation* 153:219–226. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.02.021>
664. Kleinman ME, Chameides L, Schexnayder SM et al (2010) Part 14: pediatric advanced life support: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* 122(18 Suppl 3):S876–S908. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.110.971101>
665. de Caen AR, Maconochie IK, Aickin R et al (2015) Part 6: pediatric basic life support and pediatric advanced life support: 2015 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Circulation* 132(16 Suppl 1):S177–S203. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000275>
666. Maconochie IK, Bingham R, Eich C et al (2015) European resuscitation council guidelines for resuscitation 2015: section 6. Paediatric life support. *Resuscitation* 95:223–248. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.07.028>

667. Nadkarni VM, Larkin GL, Peberdy MA et al (2006) First documented rhythm and clinical outcome from in-hospital cardiac arrest among children and adults. *JAMA* 295(1):50–57
668. Gilhooley C, Burnhill G, Gardiner D, Vyas H, Davies P (2019) Oxygen saturation and haemodynamic changes prior to circulatory arrest: implications for transplantation and resuscitation. *J Intensive Care Soc* 20(1):27–33. <https://doi.org/10.1177/1751143718764541>
669. Morgan RW, Reeder RW, Meert KL et al (2020) Survival and hemodynamics during pediatric cardiopulmonary resuscitation for Bradycardia and poor perfusion versus pulseless cardiac arrest. *Crit Care Med* 48(6):881–889. <https://doi.org/10.1097/CCM.00000000000004308>
670. Khera R, Tang Y, Girotra S et al (2019) Pulselessness after initiation of cardiopulmonary resuscitation for Bradycardia in hospitalized children. *Circulation* 140(5):370–378. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.118.039048>
671. Fraser J, Sidebotham P, Frederick J, Covington T, Mitchell EA (2014) Learning from child death review in the USA, England, Australia, and New Zealand. *Lancet* 384(9946):894–903. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61089-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61089-2)
672. Bhalala US, Balakumar N, Zamora M, Appachi E (2018) Hands-on defibrillation skills of pediatric acute care providers during a simulated ventricular fibrillation cardiac arrest scenario. *Front Pediatr* 6:107. <https://doi.org/10.3389/fped.2018.00107>
673. Tibballs J, Carter B, Kiraly NJ, Ragg P, Clifford M (2011) External and internal biphasic direct current shock doses for pediatric ventricular fibrillation and pulseless ventricular tachycardia. *Pediatr Crit Care Med* 12(1):14–20. <https://doi.org/10.1097/PCC.0b013e3181dbb4fc>
674. Ristagno G, Yu T, Quan W, Freeman G, Li Y (2012) Comparison of defibrillation efficacy between two pads placements in a pediatric porcine model of cardiac arrest. *Resuscitation* 83(6):755–759. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2011.12.010>
675. Weisfeldt ML (2004) A three phase temporal model for cardiopulmonary resuscitation following cardiac arrest. *Trans Am Clin Climatol Assoc* 115:115–122 (discussion 122)
676. Society of Thoracic Surgeons Task Force on Resuscitation After Cardiac S (2017) The society of thoracic surgeons expert consensus for the resuscitation of patients who arrest after cardiac surgery. *Ann Thorac Surg* 103(3):1005–1020. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2016.10.033>
677. Soar J, Carli P, Couper K, Deakin CD, Djarv T, Lott C, Olasveengen T, Paal P, Pellis T, Perkins GD, Sandroni C, Nolan JP (2021) European resuscitation council guidelines 2021: advanced life support. *Resuscitation* 161:115–151. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.010>
678. Fukuda T, Ohashi-Fukuda N, Kobayashi H et al (2017) Public access defibrillation and outcomes after pediatric out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 111:1–7. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.11.010>
679. Mercier E, Laroche E, Beck B et al (2019) Defibrillation energy dose during pediatric cardiac arrest: Systematic review of human and animal model studies. *Resuscitation* 139:241–252. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.04.028>
680. Hoyme DB, Zhou Y, Girotra S et al (2020) Improved survival to hospital discharge in pediatric in-hospital cardiac arrest using 2Joules/kilogram as first defibrillation dose for initial pulseless ventricular arrhythmia. *Resuscitation* 153:88–96. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.05.048>
681. Deakin CD, Morley P, Soar J, Drennan IR (2020) Double (dual) sequential defibrillation for refractory ventricular fibrillation cardiac arrest: a systematic review. *Resuscitation* 155:24–31. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.06.008>
682. Huang Y, He Q, Yang LJ, Liu GJ, Jones A (2014) Cardiopulmonary resuscitation (CPR) plus delayed defibrillation versus immediate defibrillation for out-of-hospital cardiac arrest. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009803.pub2>
683. Bradley SM, Liu W, Chan PS et al (2016) Defibrillation time intervals and outcomes of cardiac arrest in hospital: retrospective cohort study from Get With The Guidelines-Resuscitation registry. *BMJ* 353:i1653. <https://doi.org/10.1136/bmj.i1653>
684. Roh YI, Jung WJ, Hwang SO et al (2019) Shorter defibrillation interval promotes successful defibrillation and resuscitation outcomes. *Resuscitation* 143:100–105. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.08.022>
685. Brugger H, Durrer B, Elsensohn F et al (2013) Resuscitation of avalanche victims: Evidence-based guidelines of the international commission for mountain emergency medicine (ICAR MEDCOM): intended for physicians and other advanced life support personnel. *Resuscitation* 84(5):539–546. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.10.020> (Practice Guideline Review)
686. Sackowski RS, Brown DJA, Abu-Laban RB, Fradet G, Schulze CJ, Kuzak ND (2018) Prediction and risk stratification of survival in accidental hypothermia requiring extracorporeal life support: an individual patient data meta-analysis. *Resuscitation* 127:51–57. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.03.028>
687. Bauman BD, Louiselle A, Nygaard RM et al (2019) Treatment of hypothermic cardiac arrest in the pediatric drowning victim, a case report, and systematic review. *Pediatr Emerg Care*. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000001735>
688. Sepehrpour AH, Gupta S, Lall KS (2013) When should cardiopulmonary bypass be used in the setting of severe hypothermic cardiac arrest? *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 17(3):564–569. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivt208>
689. Dunne B, Christou E, Duff O, Merry C (2014) Extracorporeal-assisted rewarming in the management of accidental deep hypothermic cardiac arrest: a systematic review of the literature. *Heart Lung Circ* 23(11):1029–1035. <https://doi.org/10.1016/j.hlc.2014.06.011>
690. Paal P, Gordon L, Strapazzon G et al (2016) Accidental hypothermia—an update: the content of this review is endorsed by the international commission for mountain emergency medicine (ICAR MEDCOM). *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 24(1):111. <https://doi.org/10.1186/s13049-016-0303-7>
691. Best RR, Harris BHL, Walsh JL, Manfield T (2020) Pediatric drowning: a standard operating procedure to aid the prehospital management of pediatric cardiac arrest resulting from submersion. *Pediatr Emerg Care* 36(3):143–146. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000001169>
692. Strapazzon G, Plankensteiner J, Mair P et al (2017) Prehospital management and outcome of avalanche patients with out-of-hospital cardiac arrest: a retrospective study in Tyrol, Austria. *Eur J Emerg Med* 24(6):398–403. <https://doi.org/10.1097/MEJ.0000000000000390>
693. Svendsen OS, Grong K, Andersen KS, Husby P (2017) Outcome after rewarming from accidental hypothermia by use of extracorporeal circulation. *Ann Thorac Surg* 103(3):920–925. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2016.06.093>
694. Mentzelopoulos SD, Couper K, Van de Voorde P et al. (2021) Ethik der Reanimation und Entscheidungen am Lebensende. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. Notfall Rettungsmed. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00888-8>
695. Patel JK, Kataya A, Parikh PB (2018) Association between intra- and post-arrest hyperoxia on mortality in adults with cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 127:83–88. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.04.008>
696. Soar J, Maconochie I, Wyckoff MH et al (2019) 2019 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 145:95–150. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.10.016>
697. Okubo M, Komukai S, Izawa J et al (2019) Prehospital advanced airway management for paediatric patients with out-of-hospital cardiac arrest: a nationwide cohort study. *Resuscitation* 145:175–184. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.09.007>
698. Fukuda T, Sekiguchi H, Taira T et al (2020) Type of advanced airway and survival after pediatric out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 150:145–153. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.02.005>
699. Lopez J, Fernandez SN, Gonzalez R, Solana MJ, Urbano J, Lopez-Herce J (2016) Different respiratory rates during resuscitation in a pediatric animal model of Asphyxial cardiac arrest. *Plos One* 11(9):e162185. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162185>
700. Gonzalez R, Pascual L, Sava A, Tolon S, Urbano J, Lopez-Herce J (2017) Ventilation during cardiopulmonary resuscitation in children: a survey on clinical practice. *World J Pediatr* 13(6):544–550. <https://doi.org/10.1007/s12519-017-0061-2>
701. Aufderheide TP, Sigurdsson G, Pirralo RG et al (2004) Hyperventilation-induced hypotension during cardiopulmonary resuscitation. *Circulation* 109(16):1960–1965 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=15066941)
702. Yannopoulos D, Tang W, Roussos C, Aufderheide TP, Idris AH, Lurie KG (2005) Reducing ventilation frequency during cardiopulmonary resuscitation in a porcine model of cardiac arrest. *Respir Care* 50(5):628–635 (In eng)
703. Lapid FM, O'Brien CE, Kudchadkar SR et al (2020) The use of pressure-controlled mechanical ventilation in a swine model of intraoperative pediatric cardiac arrest. *Paediatr Anaesth* 30(4):462–468. <https://doi.org/10.1111/pan.13820>
704. Kjaergaard B, Bavarskis E, Magnusdottir SO et al (2016) Four ways to ventilate during cardiopulmonary resuscitation in a porcine model: a randomized study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 24:67. <https://doi.org/10.1186/s13049-016-0262-z>
705. Tan D, Xu J, Shao S et al (2017) Comparison of different inspiratory triggering settings in automated ventilators during cardiopulmonary resuscitation in a porcine model. *Plos One* 12(2):e171869. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171869>

706. Kill C, Hahn O, Dietz F et al (2014) Mechanical ventilation during cardiopulmonary resuscitation with intermittent positive-pressure ventilation, bilevel ventilation, or chest compression synchronized ventilation in a pig model. *Crit Care Med* 42(2):e89–e95. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3182a63fa0>
707. Kill C, Galbas M, Neuhaus C et al (2015) Chest compression synchronized ventilation versus intermittent positive pressure ventilation during cardiopulmonary resuscitation in a pig model. *Plos One* 10(5):e127759. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127759>
708. Schaller SJ, Altmann S, Unsworth A et al (2019) Continuous chest compressions with a simultaneous triggered ventilator in the Munich Emergency Medical Services: a case series. *Ger Med Sci* 17:Doc6. <https://doi.org/10.3205/000272>
709. Mandler MR, Maurer M, Hassan MA et al (2015) Different techniques of respiratory support do not significantly affect gas exchange during cardiopulmonary resuscitation in a newborn piglet model. *Neonatology* 108(1):73–80. <https://doi.org/10.1159/000381416>
710. Mandler MR, Weber C, Hassan MA, Huang L, Mayer B, Hummler HD (2017) Tidal Volume Delivery and Endotracheal Tube Leak during Cardiopulmonary Resuscitation in Intubated Newborn Piglets with Hypoxic Cardiac Arrest Exposed to Different Modes of Ventilatory Support. *Neonatology* 111(2):100–106. <https://doi.org/10.1159/000447663>
711. Salas N, Wisor B, Agazio J, Branson R, Austin PN (2007) Comparison of ventilation and cardiac compressions using the Impact Model 730 automatic transport ventilator compared to a conventional bag valve with a facemask in a model of adult cardiopulmonary arrest. *Resuscitation* 74(1):94–101. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2006.01.023>
712. Hurst VT, West S, Austin P, Branson R, Beck G (2007) Comparison of ventilation and chest compression performance by bystanders using the Impact Model 730 ventilator and a conventional bag valve with mask in a model of adult cardiopulmonary arrest. *Resuscitation* 73(1):123–130. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2006.07.027>
713. Allen SG, Brewer L, Gillis ES, Pace NL, Sakata DJ, Orr JA (2017) A turbine-driven ventilator improves adherence to advanced cardiac life support guidelines during a cardiopulmonary resuscitation simulation. *Respir Care* 62(9):1166–1170. <https://doi.org/10.4187/respcare.05368>
714. Grieco DL, Brochard LJ, Drouet A et al (2019) Intrathoracic airway closure impacts CO2 signal and delivered ventilation during cardiopulmonary resuscitation. *Am J Respir Crit Care Med* 199(6):728–737. <https://doi.org/10.1164/rccm.201806-1111OC>
715. Holmberg MJ, Nicholson T, Nolan JP et al (2020) Oxygenation and ventilation targets after cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 152:107–115. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.04.031>
716. Andersen LW, Berg KM, Saindon BZ et al (2015) Time to epinephrine and survival after pediatric in-hospital cardiac arrest. *JAMA* 314(8):802–810. <https://doi.org/10.1001/jama.2015.9678>
717. Meert K, Telford R, Holubkov R et al (2018) Paediatric in-hospital cardiac arrest: factors associated with survival and neurobehavioural outcome one year later. *Resuscitation* 124:96–105. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.01.013>
718. Hoyme DB, Patel SS, Samson RA et al (2017) Epinephrine dosing interval and survival outcomes during pediatric in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 117:18–23. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.05.023>
719. Raymond TT, Praestgaard A, Berg RA, Nadkarni VM, Parshuram CS, American Heart Association (2019) The Association of Hospital Rate of Delayed Epinephrine Administration With Survival to Discharge for Pediatric Nonshockable In-Hospital Cardiac Arrest. *Pediatr Crit Care Med* 20(5):405–416. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001863>
720. Bellamy D, Nuthall G, Dalziel S, Skinner JR (2019) Catecholaminergic polymorphic ventricular tachycardia: the cardiac arrest where epinephrine is contraindicated. *Pediatr Crit Care Med* 20(3):262–268. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001847>
721. Lin YR, Li CJ, Huang CC et al (2019) Early epinephrine improves the stabilization of initial post-resuscitation Hemodynamics in children with non-shockable out-of-hospital cardiac arrest. *Front Pediatr* 7:220. <https://doi.org/10.3389/fped.2019.00220>
722. Lin YR, Wu MH, Chen TY et al (2019) Time to epinephrine treatment is associated with the risk of mortality in children who achieve sustained ROSC after traumatic out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care* 23(1):101. <https://doi.org/10.1186/s13054-019-2391-z>
723. Hansen M, Schmicker RH, Newgard CD et al (2018) Time to epinephrine administration and survival from nonshockable out-of-hospital cardiac arrest among children and adults. *Circulation* 137(19):2032–2040. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.117.033067>
724. Fukuda T, Kondo Y, Hayashida K, Sekiguchi H, Kukita I (2018) Time to epinephrine and survival after paediatric out-of-hospital cardiac arrest. *Eur Heart J Cardiovasc Pharmacother* 4(3):144–151. <https://doi.org/10.1093/ehjcvp/pvx023>
725. Lin YR, Syue YJ, Buddhakosai W et al (2016) Impact of different initial epinephrine treatment time points on the early postresuscitative hemodynamic status of children with traumatic out-of-hospital cardiac arrest. *Medicine* 95(12):e3195. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000003195>
726. Wall JJ, Iyer RV (2017) Catecholaminergic polymorphic ventricular tachycardia. *Pediatr Emerg Care* 33(6):427–431. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000001156>
727. Soar J, Perkins GD, Maconochie I et al (2019) European resuscitation council guidelines for resuscitation: 2018 update—antiarrhythmic drugs for cardiac arrest. *Resuscitation* 134:99–103. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.11.018>
728. Holmberg MJ, Ross CE, Atkins DL et al (2020) Lidocaine versus amiodarone for pediatric in-hospital cardiac arrest: an observational study. *Resuscitation* 149:191–201. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.12.033>
729. Mok YH, Loke AP, Loh TF, Lee JH (2016) Characteristics and risk factors for mortality in paediatric in-hospital cardiac events in Singapore: retrospective single centre experience. *Ann Acad Med Singap* 45(12):534–541 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28062881>)
730. Lasa JJ, Alali A, Minard CG et al (2019) Cardiopulmonary resuscitation in the pediatric cardiac catheterization laboratory: a report from the American Heart Association's get with the guidelines-resuscitation registry. *Pediatr Crit Care Med* 20(11):1040–1047. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000002038>
731. Writer H (2010) Cardiorespiratory arrest in children (out of hospital). *BMJ Clin Evid* 2010:0307. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21406131>
732. Wu ET, Li MJ, Huang SC et al (2009) Survey of outcome of CPR in pediatric in-hospital cardiac arrest in a medical center in Taiwan. *Resuscitation* 80(4):443–448. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2009.01.006> (In eng)
733. Del Castillo J, Lopez-Herce J, Canadas S et al (2014) Cardiac arrest and resuscitation in the pediatric intensive care unit: a prospective multicenter multinational study. *Resuscitation* 85(10):1380–1386. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.06.024>
734. Wolfe HA, Sutton RM, Reeder RW et al (2019) Functional outcomes among survivors of pediatric in-hospital cardiac arrest are associated with baseline neurologic and functional status, but not with diastolic blood pressure during CPR. *Resuscitation* 143:57–65. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.08.006>
735. Matamoros M, Rodriguez R, Callejas A et al (2015) In-hospital pediatric cardiac arrest in Honduras. *Pediatr Emerg Care* 31(1):31–35. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000000323>
736. Lopez-Herce J, del Castillo J, Canadas S, Rodriguez-Nunez A, Carrillo A, Spanish Study Group of Cardiopulmonary Arrest in C (2014) In-hospital pediatric cardiac arrest in Spain. *Rev Esp Cardiol* 67(3):189–195. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2013.07.017> (Engl)
737. Raymond TT, Stromberg D, Stigall W, Burton G, Zaritsky A, American Heart Association's Get With The Guidelines-Resuscitation I (2015) Sodium bicarbonate use during in-hospital pediatric pulseless cardiac arrest—a report from the American Heart Association Get With The Guidelines-(R)-Resuscitation. *Resuscitation* 89:106–113. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.01.007>
738. Berg RA, Reeder RW, Meert KL et al (2018) End-tidal carbon dioxide during pediatric in-hospital cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 133:173–179. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.08.013>
739. Stine CN, Koch J, Brown LS, Chalak L, Kapadia V, Wyckoff MH (2019) Quantitative end-tidal CO2 can predict increase in heart rate during infant cardiopulmonary resuscitation. *Heliyon* 5(6):e1871. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01871>
740. Yates AR, Sutton RM, Reeder RW et al (2019) Survival and cardiopulmonary resuscitation hemodynamics following cardiac arrest in children with surgical compared to medical heart disease. *Pediatr Crit Care Med* 20(12):1126–1136. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000002088>
741. Berg RA, Sutton RM, Reeder RW et al (2018) Association between diastolic blood pressure during pediatric in-hospital cardiopulmonary resuscitation and survival. *Circulation* 137(17):1784–1795. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.117.032270>
742. Caglar A, Er A, Ulusoy E et al (2017) Cerebral oxygen saturation monitoring in pediatric cardiopulmonary resuscitation patients in the emergency settings: a small descriptive study. *Turk J Pediatr* 59(6):642–647. <https://doi.org/10.24953/turkjped.2017.06.004>
743. Abramo TJ, Meredith M, Jaeger M et al (2014) Cerebral oximetry with blood volume index in a-stolic pediatric cerebrospinal fluid malfunctioning shunt patients. *Am J Emerg Med* 32(11):1439.e1–7. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2014.04.007>

744. Pasquier M, Hugli O, Paal P et al (2018) Hypothermia outcome prediction after extracorporeal life support for hypothermic cardiac arrest patients: the HOPE score. *Resuscitation* 126:58–64. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.02.026>
745. Hilmo J, Naesheim T, Gilbert M (2014) "Nobody is dead until warm and dead": prolonged resuscitation is warranted in arrested hypothermic victims also in remote areas—a retrospective study from northern Norway. *Resuscitation* 85(9):1204–1211. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.04.029>
746. Wollenek G, Honarwar N, Golej J, Marx M (2002) Cold water submersion and cardiac arrest in treatment of severe hypothermia with cardiopulmonary bypass. *Resuscitation* 52(3):255–263
747. Huang SC, Wu ET, Wang CC et al (2012) Eleven years of experience with extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for paediatric patients with in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 83(6):710–714. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.01.031> (Research Support, Non-U.S. Gov't) (In eng.)
748. De Mul A, Nguyen DA, Doell C, Perez MH, Cannizzaro V, Karam O (2019) Prognostic evaluation of mortality after pediatric resuscitation assisted by extracorporeal life support. *J Pediatr Intensive Care* 8(2):57–63. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1667012>
749. Pasquier M, Rousson V (2020) Qualification for extracorporeal life support in accidental hypothermia: the HOPE score. *Ann Thorac Surg*. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsurg.2020.06.146>
750. Dunning J, Fabbri A, Kolh PH et al (2009) Guideline for resuscitation in cardiac arrest after cardiac surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 36(1):3–28. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2009.01.033> (In eng)
751. Tsou PY, Kurbedin J, Chen YS et al (2017) Accuracy of point-of-care focused echocardiography in predicting outcome of resuscitation in cardiac arrest patients: A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 114:92–99. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.02.021>
752. Bhananker SM, Ramamoorthy C, Geiduschek JM et al (2007) Anesthesia-related cardiac arrest in children: update from the Pediatric Perioperative Cardiac Arrest Registry. *Anesth Analg* 105(2):344–350. <https://doi.org/10.1213/01.ane.0000268712.00756.dd>
753. Spyres MB, Farrugia LA, Kang AM et al (2019) The toxicology investigators consortium case registry—the 2018 annual report. *J Med Toxicol* 15(4):228–254. <https://doi.org/10.1007/s13181-019-00736-9>
754. Larach MG, Rosenberg H, Gronert GA, Allen GC (1997) Hyperkalemic cardiac arrest during anesthesia in infants and children with occult myopathies. *Clin Pediatr (Phila)* 36(1):9–16. <https://doi.org/10.1177/000992289703600102>
755. Carreiro S, Miller S, Wang B, Wax P, Campleman S, Manini AF (2020) Clinical predictors of adverse cardiovascular events for acute pediatric drug exposures. *Clin Toxicol* 58(3):183–189. <https://doi.org/10.1080/15563650.2019.1634272>
756. Morgan RW, Fitzgerald JC, Weiss SL, Nadkarni VM, Sutton RM, Berg RA (2017) Sepsis-associated in-hospital cardiac arrest: epidemiology, pathophysiology, and potential therapies. *J Crit Care* 40:128–135. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2017.03.023>
757. Workman JK, Bailly DK, Reeder RW et al (2020) Risk factors for mortality in refractory pediatric septic shock supported with extracorporeal life support. *ASAIO J* 66(10):1152–1160. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001147>
758. Sole A, Jordan I, Bobillo S et al (2018) Venous extracorporeal membrane oxygenation support for neonatal and pediatric refractory septic shock: more than 15 years of learning. *Eur J Pediatr* 177(8):1191–1200. <https://doi.org/10.1007/s00431-018-3174-2>
759. Torres-Andres F, Fink EL, Bell MJ, Sharma MS, Yablonsky EJ, Sanchez-de-Toledo J (2018) Survival and long-term functional outcomes for children with cardiac arrest treated with extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *Pediatr Crit Care Med* 19(5):451–458. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001524>
760. Barbaro RP, Paden ML, Guner YS et al (2017) Pediatric extracorporeal life support organization registry international report 2016. *ASAIO J* 63(4):456–463. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000000603>
761. Shin HJ, Song S, Park HK, Park YH (2016) Results of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in children. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg* 49(3):151–156. <https://doi.org/10.5090/kjctcs.2016.49.3.151>
762. Oberender F, Ganeshalingham A, Fortenberry JD et al (2018) Venous extracorporeal membrane oxygenation versus conventional therapy in severe pediatric septic shock. *Pediatr Crit Care Med* 19(10):965–972. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001660>
763. Weiss SL, Balamuth F, Hensley J et al (2017) The epidemiology of hospital death following pediatric severe sepsis: when, why, and how children with sepsis die. *Pediatr Crit Care Med* 18(9):823–830. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001222>
764. Cunningham A, Auerbach M, Cicero M, Jafri M (2018) Tourniquet usage in prehospital care and resuscitation of pediatric trauma patients—Pediatric Trauma Society position statement. *J Trauma Acute Care Surg* 85(4):665–667. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001839>
765. American College of Surgeons Committee on T, American College of Emergency Physicians Pediatric Emergency Medicine C, National Association of Ems P, American Academy of Pediatrics Committee on Pediatric Emergency M, Fallat ME (2014) Withholding or termination of resuscitation in pediatric out-of-hospital traumatic cardiopulmonary arrest. *Pediatrics* 133(4):e1104–e1116. <https://doi.org/10.1542/peds.2014-0176>
766. Zwingmann J, Mehlhorn AT, Hammer T, Bayer J, Sudkamp NP, Stroh PC (2012) Survival and neurologic outcome after traumatic out-of-hospital cardiopulmonary arrest in a pediatric and adult population: a systematic review. *Crit Care* 16(4):R117. <https://doi.org/10.1186/cc11410>
767. Donoghue AJ, Nadkarni V, Berg RA et al (2005) Out-of-hospital pediatric cardiac arrest: an epidemiologic review and assessment of current knowledge. *Ann Emerg Med* 46(6):512–522
768. Alqudah Z, Nehme Z, Alrawashdeh A, Williams B, Oteir A, Smith K (2020) Paediatric traumatic out-of-hospital cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 149:65–73. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.01.037>
769. Moore L, Champion H, Tardif PA et al (2018) Impact of trauma system structure on injury outcomes: a systematic review and meta-analysis. *World J Surg* 42(5):1327–1339. <https://doi.org/10.1007/s00268-017-4292-0>
770. Puzio T, Murphy P, Gazzetta J, Phillips M, Cotton BA, Hartwell JL (2019) Extracorporeal life support in pediatric trauma: a systematic review. *Trauma Surg Acute Care Open* 4(1):e362. <https://doi.org/10.1136/tsaco-2019-000362>
771. Tan BK, Pothiwala S, Ong ME (2013) Emergency thoracotomy: a review of its role in severe chest trauma. *Minerva Chir* 68(3):241–250 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23774089>)
772. Allen CJ, Valle EJ, Thorson CM et al (2015) Pediatric emergency department thoracotomy: a large case series and systematic review. *J Pediatr Surg* 50(1):177–181. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2014.10.042>
773. Moskowitz EE, Burlew CC, Kulungowski AM, Bensard DD (2018) Survival after emergency department thoracotomy in the pediatric trauma population: a review of published data. *Pediatr Surg Int* 34(8):857–860. <https://doi.org/10.1007/s00383-018-4290-9>
774. Bennett M, Kisson N (2007) Is cardiopulmonary resuscitation warranted in children who suffer cardiac arrest post trauma? *Pediatr Emerg Care* 23(4):267–272. <https://doi.org/10.1097/PEC.0b013e3180403088>
775. Cameron A, Erdogan M, Lanteigne S, Hetherington A, Green RS (2018) Organ donation in trauma victims: a systematic review and meta-analysis. *J Trauma Acute Care Surg* 84(6):994–1002. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001886>
776. Shibahashi K, Sugiyama K, Hamabe Y (2020) Pediatric out-of-hospital traumatic cardiopulmonary arrest after traffic accidents and termination of resuscitation. *Ann Emerg Med* 75(1):57–65. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2019.05.036>
777. Brindis SL, Gausche-Hill M, Young KD, Putnam B (2011) Universally poor outcomes of pediatric traumatic arrest: a prospective case series and review of the literature. *Pediatr Emerg Care* 27(7):616–621. <https://doi.org/10.1097/PEC.0b013e31822255c9>
778. Matos RI, Watson RS, Nadkarni VM et al (2013) Duration of cardiopulmonary resuscitation and illness category impact survival and neurologic outcomes for in-hospital pediatric cardiac arrests. *Circulation* 127(4):442–451. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.112.125625> (In eng)
779. Duron V, Burke RV, Bliss D, Ford HR, Upperman JS (2014) Survival of pediatric blunt trauma patients presenting with no signs of life in the field. *J Trauma Acute Care Surg* 77(3):422–426. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000394>
780. Noje C, Bembea MM, McMillan NKL et al (2019) A national survey on interhospital transport of children in cardiac arrest. *Pediatr Crit Care Med* 20(1):e30–e36. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001768>
781. Wieck MM, Cunningham AJ, Behrens B et al (2018) Direct to operating room trauma resuscitation decreases mortality among severely injured children. *J Trauma Acute Care Surg* 85(4):659–664. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001908>
782. Michelson KA, Hudgins JD, Monuteaux MC, Bachur RG, Finkelstein JA (2018) Cardiac arrest survival in pediatric and general emergency departments. *Pediatrics*. <https://doi.org/10.1542/peds.2017-2741>
783. Moore HB, Moore EE, Bensard DD (2016) Pediatric emergency department thoracotomy: a 40-year review. *J Pediatr Surg* 51(2):315–318. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2015.10.040>
784. Schauer SG, Hill GJ, Connor RE, Oh JS, April MD (2018) The pediatric resuscitative thoracotomy during combat operations in Iraq and Afghanistan—a retrospective cohort study. *Injury*

- 49(5):911–915. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2018.01.034>
785. Flynn-O'Brien KT, Stewart BT, Fallat ME et al (2016) Mortality after emergency department thoracotomy for pediatric blunt trauma: analysis of the national trauma data bank 2007–2012. *J Pediatr Surg* 51(1):163–167. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2015.10.034>
786. Capizzani AR, Drongowski R, Ehrlich PF (2010) Assessment of termination of trauma resuscitation guidelines: are children small adults? *J Pediatr Surg* 45(5):903–907. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2010.02.014>
787. TraumaRegister DGU, Zwingmann J, Lefering R et al (2015) Outcome and risk factors in children after traumatic cardiac arrest and successful resuscitation. *Resuscitation* 96:59–65. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.07.022>
788. McLaughlin C, Zagory JA, Fenlon M et al (2018) Timing of mortality in pediatric trauma patients: a national trauma data bank analysis. *J Pediatr Surg* 53(2):344–351. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2017.10.006>
789. Alqudah Z, Nehme Z, Williams B, Oteir A, Bernard S, Smith K (2019) A descriptive analysis of the epidemiology and management of paediatric traumatic out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 140:127–134. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.05.020>
790. Kaestner M, Schranz D, Warnecke G, Apitz C, Hansmann G, Miera O (2016) Pulmonary hypertension in the intensive care unit. Expert consensus statement on the diagnosis and treatment of paediatric pulmonary hypertension. The European Paediatric Pulmonary Vascular Disease Network, endorsed by ISHLT and DGPK. *Heart* 102(Suppl 2):ii57–ii66. <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2015-307774>
791. Marino BS, Tabbutt S, MacLaren G et al (2018) Cardiopulmonary resuscitation in infants and children with cardiac disease: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 137(22):e691–e782. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000524>
792. Morgan RW, Topjian AA, Wang Y et al (2020) Prevalence and outcomes of pediatric in-hospital cardiac arrest associated with pulmonary hypertension. *Pediatr Crit Care Med* 21(4):305–313. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000002187>
793. Loaec M, Himebauch AS, Kilbaugh TJ et al (2020) Pediatric cardiopulmonary resuscitation quality during intra-hospital transport. *Resuscitation* 152:123–130. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.05.003>
794. Anton-Martin P, Moreira A, Kang P, Green ML (2020) Outcomes of paediatric cardiac patients after 30 minutes of cardiopulmonary resuscitation prior to extracorporeal support. *Cardiol Young* 30(5):607–616. <https://doi.org/10.1017/S1047951120000591>
795. Morell E, Rajagopal SK, Oishi P, Thiagarajan RR, Fineman JR, Steurer MA (2020) Extracorporeal membrane oxygenation in pediatric pulmonary hypertension. *Pediatr Crit Care Med* 21(3):256–266. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000002127>
796. Melvan JN, Davis J, Heard M et al (2020) Factors associated with survival following extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in children. *World J Pediatr Congenit Heart Surg* 11(3):265–274. <https://doi.org/10.1177/2150135120902102>
797. Esangbedo ID, Brunetti MA, Campbell FM, Lasa JJ (2020) Pediatric extracorporeal cardiopulmonary resuscitation: a systematic review. *Pediatr Crit Care Med* 21(10):e934–e943. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000002373>
798. Kido T, Iwagami M, Yasunaga H et al (2020) Outcomes of paediatric out-of-hospital cardiac arrest according to hospital characteristic defined by the annual number of paediatric patients with invasive mechanical ventilation: a nationwide study in Japan. *Resuscitation* 148:49–56. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.12.020>
799. Amagasa S, Kashiura M, Moriya T et al (2019) Relationship between institutional case volume and one-month survival among cases of paediatric out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 137:161–167. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.02.021>
800. Gupta P, Tang X, Gall CM, Lauer C, Rice TB, Wetzel RC (2014) Epidemiology and outcomes of in-hospital cardiac arrest in critically ill children across hospitals of varied center volume: a multi-center analysis. *Resuscitation* 85(11):1473–1479. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.07.016>
801. Stub D, Nichol G (2012) Hospital care after resuscitation from out-of-hospital cardiac arrest: the emperor's new clothes? *Resuscitation* 83(7):793–794. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.03.034>
802. Topjian AA, Telford R, Holubkov R et al (2019) The association of early post-resuscitation hypotension with discharge survival following targeted temperature management for pediatric in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 141:24–34. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.05.032>
803. Laverriere EK, Polansky M, French B, Nadkarni VM, Berg RA, Topjian AA (2020) Association of duration of hypotension with survival after pediatric cardiac arrest. *Pediatr Crit Care Med* 21(2):143–149. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000002119>
804. Topjian AA, Sutton RM, Reeder RW et al (2019) The association of immediate post cardiac arrest diastolic hypertension and survival following pediatric cardiac arrest. *Resuscitation* 141:88–95. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.05.033>
805. Topjian AA, Telford R, Holubkov R et al (2018) Association of early postresuscitation hypotension with survival to discharge after targeted temperature management for pediatric out-of-hospital cardiac arrest: secondary analysis of a randomized clinical trial. *JAMA Pediatr* 172(2):143–153. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2017.4043>
806. Lopez-Herce J, del Castillo J, Matamoros M et al (2014) Post return of spontaneous circulation factors associated with mortality in pediatric in-hospital cardiac arrest: a prospective multicenter multinational observational study. *Crit Care* 18(6):607. <https://doi.org/10.1186/s13054-014-0607-9>

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:720–749
<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00888-8>
 Angenommen: 19. April 2021
 Online publiziert: 2. Juni 2021
 © European Resuscitation Council (ERC),
 German Resuscitation Council (GRC), Austrian
 Resuscitation Council (ARC) 2021



Spyros D. Mentzelopoulos¹ · Keith Couper^{2,3} · Patrick Van de Voorde^{4,5} ·
 Patrick Druwé⁶ · Marieke Blom⁷ · Gavin D. Perkins³ · Ileana Lulic⁸ · Jana Djakov^{9,10} ·
 Violetta Raffay^{11,12} · Gisela Lilja¹³ · Leo Bossaert¹⁴

¹ Evaggelismos Allgemeines Krankenhaus, Abteilung für Intensivmedizin, Medizinische Fakultät der Nationalen und Kapodistrischen Universität Athen, Athen, Griechenland

² Universitätskliniken Birmingham NHS Foundation Trust, UK Critical Care Unit, Birmingham, Großbritannien

³ Medizinische Fakultät Warwick, Universität Warwick, Coventry, Großbritannien

⁴ Universitätsklinikum und Universität Gent, Gent, Belgien

⁵ staatliches Gesundheitsministerium, Brüssel, Belgien

⁶ Abteilung für Intensivmedizin, Universitätsklinikum Gent, Gent, Belgien

⁷ Medizinisches Zentrum der Universität Amsterdam, Amsterdam, Niederlande

⁸ Klinisches Krankenhaus Merkur, Zagreb, Kroatien

⁹ Intensivstation für Kinder, NH Hospital, Hořovice, Tschechien

¹⁰ Abteilung für Kinderanästhesiologie und Intensivmedizin, Universitätsklinikum und Medizinische Fakultät der Masaryk-Universität, Brno, Tschechien

¹¹ School of Medicine, Europäische Universität Zypern, Nikosia, Zypern

¹² Serbischer Wiederbelebungsrat, Novi Sad, Serbien

¹³ Universitätsklinikum Skane, Abteilung für klinische Wissenschaften Lund, Neurologie, Universität Lund, Lund, Schweden

¹⁴ Universität Antwerpen, Antwerpen, Belgien

Ethik der Reanimation und Entscheidungen am Lebensende

Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Zusatzmaterial online

Zusätzliche Informationen sind in der Online-Version dieses Artikels (<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00888-8>) enthalten.

Die Leitlinien wurden mit dem generischen Maskulin übersetzt. Bitte beachten Sie, dass alle Personenbezeichnungen gleichermaßen für beide Geschlechter gelten.

Das englische Advance Care Planning wird im Deutschen verschieden übersetzt: als vorausschauende Behandlungsplanung, vorausschauende Versorgungsplanung oder auch als Vorausplanung.

Die Übersetzung beruht auf der Version vom 29.01.2021. Bis zur Publikation des englischen Originals in *Resuscitation* wurden in manchen Kapiteln Literaturstellen korrigiert oder andere Änderungen vorgenommen, die den Sinn nicht wesentlich ändern.

Einführung und Anwendungsbereich

Der Zweck des aktuellen Kapitels der Europäischen Leitlinie zur Wiederbelebung besteht darin, evidenzbasierte Empfehlungen für die ethische und routinemäßige Praxis der Wiederbelebung und für die Betreuung von Erwachsenen und Kindern am Lebensende abzugeben. Dies bedeutet, den Vorteil lebenserhaltender Maßnahmen zu maximieren und gleichzeitig relevante Schäden zu verhindern und einen gerechten Zugang zur bestmöglichen Reanimationsversorgung zu fördern. Dieses Kapitel soll in Verbindung mit anderen Kapiteln gelesen werden, die sich auf bestimmte relevante Themen konzentrieren. Informationen z. B. über Epidemiologie, Ausbildung, Betreuung nach Wiederbelebung und die Ethik der Wiederbelebung von Neugeborenen

(Geburtsvorgang) finden Sie in den entsprechenden Kapiteln dieser Leitlinien.

In erster Linie konzentrieren wir uns auf wichtige Maßnahmen in Bezug auf ethische Praktiken (d. h. Patientenverfügung, vorausschauende Behandlungsplanung und gemeinsame Entscheidungsfindung) und die Entscheidungsfindung in Bezug auf Wiederbelebung, Ausbildung und Forschung. Diese Bereiche stehen in engem Zusammenhang mit der Anwendung der Prinzipien der Bioethik in der Praxis der Wiederbelebung und der Betreuung am Lebensende. Gemeinsam formulierte Definitionen der wichtigsten bioethischen Prinzipien und der entsprechenden Schlüsselbegriffe sind in der elektronischen Beilage enthalten.

Wir verweisen auch auf aufkommende ethische Herausforderungen, die aus den gesellschaftlichen und rechtlichen Veränderungen in Zusammenhang mit der SARS-CoV-2-Pandemie (COVID-

ETHIK 2021
5 KERNAUSSAGEN

EUROPEAN RESUSCITATION COUNCIL

- VORAUSSCHAUENDE BEHANDLUNGSPLÄNE**
 - helfen Patienten und deren Familien den Reanimationserfolg zu erreichen, der diesen wichtig ist;
 - ermöglichen Ärzten und Patienten, an einer gemeinsamen Entscheidungsfindung teilzuhaben;
 - sollen DNACPR-Entscheidungen in Notfallmedizinische Behandlungspläne integrieren.
- SCHULEN SIE PATIENTEN UND DIE ÖFFENTLICHKEIT DARIN**
 - was Wiederbelebung beinhaltet und was Überleben nach erfolgreicher Wiederbelebung bedeutet;
 - den Ärzten zu vermitteln, was ihnen als Patient bezüglich ihres Reanimationsausgangs wichtig ist
- SCHULEN SIE DAS MEDIZINISCHE PERSONAL DARIN**
 - was vorausschauende Behandlungsplanung bedeutet;
 - was eine gemeinsame Entscheidungsfindung beinhaltet;
 - wie man effektiv mit Patienten und deren Angehörigen kommuniziert, wenn es um vorausschauende Behandlungsplanung geht.
- WANN WIEDERBELEBUNG BEGONNEN UND WANN SIE GESTOPPT WERDEN SOLL**
 - Nutzen Sie vordefinierte Kriterien für das Unterlassen und den Abbruch einer CPR
 - Treffen Sie keine Entscheidungen auf der Basis einzelner klinischer Zeichen oder Zeichen einer schlechten Prognose.
 - Dokumentieren Sie die Gründe für Ihre Reanimationsentscheidungen.
- FORSCHUNG**
 - Beziehen Sie Patienten und die Öffentlichkeit während der Planung Durchführung und Ergebnisinterpretation von Forschungsvorhaben ein.
 - Respektieren Sie die Würde und Privatsphäre der Studienteilnehmer.
 - Folgen Sie nationalen Leitlinien zur Durchführung von Studien in Notfallsituationen, in denen die Patienten nicht einwilligungsfähig sind.

Abb. 1 ▲ Ethik Schlüsselaussagen Leitlinien 2021

19) resultieren [1]. Diese Änderungen umfassen neue soziale Normen (z.B. die Einschränkung sozialer Kontakte oder das Abstandhalten), eine mögliche Verschärfung von Ungleichheiten im Gesundheitswesen und die Verbreitung von Fehlinformationen im Bereich der öffentlichen Gesundheit [1, 2].

Der Inhalt dieses Kapitels basiert auf Übersichtsarbeiten zu 22 Forschungsfragen und auf Expertenmeinungen. Die Reviews wurden ursprünglich im Jahr 2019 abgeschlossen. Aufgrund der COVID-19-Krise und der Verschiebung der Veröffentlichung der 2020-Leitlinien

haben wir jedes Review Mitte 2020 aktualisiert. Ausführliche Informationen zu jeder Übersichtsarbeit, einschließlich der Suchstrategien, der eingeschlossenen Studien und Studienergebnisse, sind in der elektronischen Beilage enthalten.

Die Kernaussagen des Kapitels sind in **Abb. 1** zusammengefasst.

Diese Leitlinien wurden von den Mitgliedern der Ethik-Autorengruppe erstellt und gemeinsam vereinbart. Die für die Leitlinienentwicklung verwendete Methodik ist im Kapitel Zusammenfassung dargestellt [3]. Die Leitlinien wurden im Oktober 2020 zur öffentli-

chen Kommentierung bekannt gemacht. Das Feedback wurde von der Autorengruppe überprüft und die Leitlinien wurden gegebenenfalls aktualisiert. Die Leitlinie wurde der Generalversammlung des ERC am 10. Dezember 2020 vorgelegt und von dieser genehmigt.

Kurz gefasste Leitlinien für die klinische Praxis

Wichtige Maßnahmen zur Wahrung der Autonomie

Patientenpräferenzen und Behandlungsentscheidungen

Für Ärzte soll gelten:

- Verwenden Sie die vorausschauende Behandlungsplanung, welche im Konsens getroffene Entscheidungen inkludiert, um die Übereinstimmung zwischen Patientenwünschen und -behandlung zu verbessern.
- Bieten Sie die vorausschauende Behandlungsplanung allen Patienten mit erhöhtem Risiko für einen Kreislaufstillstand sowie jenen für einen schlechten Reanimationserfolg an.
- Unterstützen Sie die vorausschauende Behandlungsplanung in allen Situationen, in denen der Patient dies wünscht.
- Erfassen Sie die vorausschauenden Behandlungspläne konsequent z. B. mit elektronischen Registern oder Dokumentationsvorlagen.
- Integrieren Sie Wiederbelebungsentscheidungen in andere Behandlungsentscheidungen, wie z. B. in die invasive mechanische Beatmung und in übergreifende Notfallpläne für die Notfallversorgung; dies um die Transparenz von Behandlungszielen zu erhöhen und um vorzubeugen, dass andere indizierte Behandlungen unbeabsichtigt nicht angewendet werden.
- Ärzte sollen keine Reanimation anbieten, wenn eine Wiederbelebung aussichtslos erscheint.

Verbesserung der Kommunikation

- Ärzte sollen evidenzbasierte Kommunikationsformen verwenden, um Gespräche über und am Lebensende

zu verbessern und um die Fertigstellung von Patientenverfügungen bzw. vorausschauenden Behandlungsplänen zu unterstützen.

- Ärzte sollen strukturierte Gespräche über das Lebensende mit Videoentscheidungshilfen kombinieren, dort, wo diese Technologie verfügbar ist, um gemeinsam die Entscheidung über den Patiententransfer aus Pflegeheimen in Krankenhäuser zu treffen.
- Ärzte sollen daran denken, einen Mediator zu Gesprächen mit Patienten und/oder deren Familie einzuladen, wenn sie vorausschauende Behandlungspläne über die Angemessenheit lebenserhaltender Maßnahmen erstellen. Dies bezieht sich auf Gesundheitssysteme, in denen Mediatoren verfügbar sind.
- Gesundheitssysteme sollen Ärzten Kommunikationstrainings anbieten, damit diese ihre Fähigkeiten und ihr Wohlbefinden bei der Überbringung schlechter Nachrichten verbessern bzw. die Patienten bei der Definition von Behandlungszielen unterstützen können.
- Ärzte sollen folgende Aspekte zur Unterstützung von Patienten bzw. Familien in die gemeinsame Entscheidungsfindung integrieren:
 1. Geben Sie in klarer und ehrlicher Weise Informationen über den Status und die Prognose des Patienten. Dies kann durch Video-Support-Tools unterstützt werden.
 2. Informieren Sie sich über die Ziele, die Wertvorstellungen und Behandlungspräferenzen des Patienten.
 3. Beziehen Sie die Patienten bzw. Familienmitglieder in die Gespräche über vorausschauende Behandlungspläne ein.
 4. Kommunizieren Sie empathisch, machen Sie klar, dass Sie den Patienten nicht aufgeben, seine Beschwerden weiter behandeln und ihn bei seinen Entscheidungen weiter unterstützen werden.
 5. Bieten Sie die Möglichkeit spiritueller bzw. religiöser Unterstützung an.

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:720–749 <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00888-8>
 © European Resuscitation Council (ERC), German Resuscitation Council (GRC), Austrian Resuscitation Council (ARC) 2021

S. D. Mentzelopoulos · K. Couper · P. Van de Voorde · P. Druwé · M. Blom · G. D. Perkins · I. Lulic · J. Djakow · V. Raffay · G. Lilja · L. Bossaert

Ethik der Reanimation und Entscheidungen am Lebensende. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Zusammenfassung

Diese Ethikleitlinien des Europäischen Rats für Wiederbelebung enthalten evidenzbasierte Empfehlungen für die ethische, routinemäßige Praxis der Wiederbelebung und für die Betreuung von Erwachsenen und Kindern am Lebensende. Die Leitlinie konzentriert sich in erster Linie auf wichtige Maßnahmen in Bezug auf ethische Praktiken (d. h. Patientenverfügung, vorausschauende Behandlungsplanung* und gemeinsame Entscheidungsfindung), die Entscheidungs-

findung in Bezug auf Wiederbelebung, Ausbildung und Forschung. Diese Bereiche stehen in engem Zusammenhang mit der Anwendung der Prinzipien der Bioethik in der Praxis der Wiederbelebung und der Betreuung am Lebensende.

Schlüsselwörter

Patientenverfügung · Vorausschauende Behandlungsplanung · Gemeinsame Entscheidungsfindung

Ethics of resuscitation and end of life decisions. European Resuscitation Council Guidelines 2021

Abstract

These European Resuscitation Council Ethics guidelines provide evidence-based recommendations for the ethical, routine practice of resuscitation and end-of-life care of adults and children. The guideline primarily focus on major ethical practice interventions (i.e. advance directives, advance care planning, and shared decision making), decision making regarding resuscitation,

education, and research. These areas are tightly related to the application of the principles of bioethics in the practice of resuscitation and end-of-life care.

Keywords

Advance directives · Advance care planning · Shared decision making

6. Wenn angemessen, erklären und verwenden Sie standardisierte patientenzentrierte Verfahren für den Behandlungsabbruch, bei gleichzeitiger Unterstützung symptomorientierter Maßnahmen und psychologischer Patienten- und Familienbetreuung.
7. Erwägen Sie die Aufzeichnung von Besprechungen mit der Familie zum Zweck der Nachvollziehbarkeit bzw. der Qualitätsverbesserung.

Entscheidungsfindung, wann mit der kardiopulmonalen Wiederbelebung (CPR) begonnen und wann sie gestoppt werden soll

Nichteinleiten oder Abbruch der Reanimation

- Gesundheitssysteme, Ärzte und die Öffentlichkeit sollen die kardiopulmonale Wiederbelebung (CPR) als bedingte Therapie betrachten.
- Die Gesundheitssysteme sollen Kriterien für das Nichteinleiten oder den Abbruch der Wiederbelebung sowohl für den innerklinischen (IHCA) als auch für den prähospitalen Kreislaufstillstand (OHCA) implementieren, wobei der jeweilige lokal-rechtliche, organisatorische und kulturelle Kontext zu berücksichtigen ist.

- Gesundheitssysteme sollen Kriterien für das Nichteinleiten oder den Abbruch der Wiederbelebung definieren und sicherstellen, dass diese Kriterien lokal validiert werden. Folgende Kriterien können berücksichtigt werden:
 - Eindeutige Kriterien:
 - Wenn die Sicherheit des Anbieters nicht adäquat gewährleistet werden kann.
 - Wenn offensichtlich tödliche Verletzungen oder der irreversible Tod vorliegen.
 - Wenn eine gültige und relevante Patientenverfügung vorliegt, die von der Durchführung von Reanimationsmaßnahmen abräät.
 - Weitere Kriterien zur Information über die Entscheidungsfindung:
 - Anhaltende Asystolie trotz 20 min erweiterter lebensrettender Maßnahmen (ALS) ohne Vorliegen einer reversiblen Ursache.
 - Ein nichtbeobachteter Kreislaufstillstand mit einem anfänglich nichtchockbaren Rhythmus, bei dem das Risiko einer Schädigung des Patienten durch anhaltende Reanimation wahrscheinlich den Nutzen überwiegt, z. B. bei Ausbleiben der Rückkehr eines spontanen Kreislaufs (ROSC) oder bei vorbestehender schwerer chronischer Komorbidität bzw. sehr reduzierter Lebensqualität.
 - Andere starke Hinweise darauf, dass eine weitere Reanimation nicht mit den Wertvorstellungen und Präferenzen der Patienten oder nicht mit deren Interesse vereinbar wäre.
 - Kriterien, die nicht allein die Entscheidungsfindung beeinflussen sollen, z. B.
 - Pupillengröße,
 - Dauer der Reanimation,
 - endtidaler Kohlendioxidwert (CO₂),
 - Begleiterkrankungen,
 - initialer Laktatwert,
 - Selbstmordversuch.
- Ärzte sollen die Gründe für das Nichteinleiten oder den Abbruch der

Wiederbelebung klar dokumentieren, Gesundheitssysteme sollen diese Dokumentation überprüfen.

- Gesundheits- und Rettungsdienste sollen Kriterien für den frühzeitigen Transport von präklinischen Reanimationspatienten ins Krankenhaus unter Berücksichtigung des lokalen Kontexts implementieren, wenn keine Kriterien für das Nichteinleiten oder den Abbruch von Reanimationsmaßnahmen vorliegen. Der Transport soll frühzeitig innerhalb des Reanimationsversuchs erwogen werden und die Faktoren Patient, Ereignis (z. B. die Entfernung zum Krankenhaus, das Risiko eines hoch-prioritären Transports für die Beteiligten) und Behandlung (z. B. das Risiko einer suboptimalen Reanimation) berücksichtigen. Zu den Patienten, die von einem frühen Transport besonders profitieren können, gehören solche mit vom Rettungsdienst (oder von einem Ersthelfer, der Basismaßnahmen hochwertig durchführt) beobachtetem Kreislaufstillstand sowie solche mit jemals ROSC oder unter Kammerflimmern bzw. Kammertachykardie (VT/VF) als erfasster Rhythmus und solche mit einer vermutlich reversiblen Ursache (z. B. Herz, Toxizität, Unterkühlung).
 - Gesundheitssysteme sollen Kriterien für den Interhospitaltransport von innerklinischen Reanimationspatienten aus Krankenhäusern erstellen, in denen erweiterte Wiederbelebungstechniken nicht angeboten werden.
- Ärzte sollen die Reanimation bei denjenigen Patienten beginnen, bei denen keine lokalen Kriterien für das Nichteinleiten der Reanimationsmaßnahmen vorliegen. Die Maßnahmen können angepasst werden, sobald weitere Informationen verfügbar sind.
- Ärzte sollen nicht an „slow codes“ teilnehmen.
- Während einer Pandemie kann der Ressourcenbedarf (z. B. an Intensivpflegebetten, Beatmungsgeräte, Personal, Medikamente) die Ressourcenverfügbarkeit erheblich übersteigen. Gesundheitsteams sollen

die Überlebenschancen und/oder das gute Langzeitergebnis jedes Patienten sowie den erwarteten Ressourcenverbrauch sorgfältig bewerten, um die Ressourcenzuweisung zu optimieren. Ärzte sollen keine pauschalisierenden Kriterien (z. B. Alter) verwenden, um die Auswahl der Patienten für eine Behandlung festzulegen.

- Gesundheitssysteme, in denen nach einem Kreislaufftod eine unkontrollierte Organspende, angeboten wird oder andere Organspendesysteme sollen transparente Kriterien zur Identifikation der Spender, für den Einwilligungsprozess und für die Erhaltung der Organfunktion entwickeln.

Ersthelferreanimation

Für Gesundheits- bzw. Rettungsdienste soll gelten:

- Bewerten Sie die Bedeutung der Ersthelferreanimation als zentralen Bestandteil der Ersthilfe beim prähospitalen Kreislaufstillstand.
- Bewerten Sie die Ersthelferreanimation als freiwillige Handlung ohne moralische oder rechtliche Verpflichtung.
- Unterstützen Sie die Ersthelfer, um negative Auswirkungen durch die Ersthelfer-Reanimationsmaßnahmen auf ihre eigene Gesundheit zu reduzieren. In Zusammenhang mit übertragbaren Krankheiten (wie COVID-19) sind Ersthelfer auch dafür verantwortlich, eine weitere Übertragung von Krankheiten auf andere Personen in unmittelbarer Nähe und in der weiteren Gesellschaft zu vermeiden.
- Ziel ist es, Situationen zu identifizieren, in denen die Ersthelferreanimation eher von Vorteil ist, und Situationen, in denen dies unwahrscheinlich ist.
- Bewerten Sie den Wert der (Ersthelfer-)Reanimation niemals isoliert sondern als Teil des gesamten Gesundheitssystems in der jeweiligen Region. (Ersthelfer-)Reanimation scheint dort möglich zu sein, wo Ressourcen und Organisationen

die Integrität der Überlebenskette unterstützen.

Familienpräsenz während der Wiederbelebung

Wiederbelebungsteams sollen den Familienmitgliedern von Patienten im Kreislaufstillstand die Möglichkeit bieten, während des Wiederbelebungsvorgangs anwesend zu sein; insbesondere dann, wenn diese Möglichkeit sicher geboten und ein Teammitglied der Familie des Patienten zur Unterstützung zugewiesen werden kann. Gesundheitssysteme sollen Ärzten Schulungen anbieten, wie Familienmitglieder bei Wiederbelebungsvorgängen am besten informiert und unterstützt werden können.

Patientenoutcome und ethische Überlegungen

- Bei der Entscheidungsfindung zur Reanimation sollen Ärzte die individuelle Einstellung des Patienten zur Reanimation erfragen und versuchen, die Wertvorstellung zu verstehen, die dieser mit dem jeweiligen Reanimationserfolg verbindet.
- Die Gesundheitssysteme sollen die Ergebnisse nach einem Kreislaufstillstand überwachen und Möglichkeiten zur Implementierung evidenzbasierter Maßnahmen identifizieren, um die Variabilität der Patientenergebnisse zu verringern.
- Die Forschung zum Kreislaufstillstand soll die wesentlichen Kriterien zum Reanimationserfolg erfassen, wie im Kerndatensatz zum Kreislaufstillstand beschrieben.

Ethik und Notfallforschung

- Gesundheits- und Rettungsdienstsysteme sollen die Bereitstellung hochwertiger Notfallforschung, sowohl interventioneller als auch nichtinterventioneller Art, als wesentlichen Bestandteil zur Optimierung des Reanimationserfolgs von Patienten mit Kreislaufstillstand unterstützen.
- Die Forscher sollen Patienten und Vertreter der Öffentlichkeit in den gesamten Forschungsprozess einbeziehen, einschließlich des Studien-

designs, der Durchführung und der Verbreitung der Forschungsergebnisse.

- Für die Beobachtungsforschung (z. B. in Zusammenhang mit der Erfassung von Registerdaten und/oder der Probenentnahme und Analyse von DNA-Biobankdaten) empfehlen wir die Berücksichtigung der Vorgabe einer rückwirkenden und umfassenden Einwilligung bei gleichzeitiger Implementierung geeigneter Schutzmaßnahmen zur Verhinderung von Datenschutzverletzungen und nachträglicher Patientenidentifizierung.
- Gemeinden oder Bevölkerungsgruppen, in denen Forschung betrieben wird und die das Risiko forschungsbedingter unerwünschter Ereignisse mittragen, sollen die Möglichkeit erhalten, von den Forschungsergebnissen zu profitieren.
- Die Forscher müssen sicherstellen, dass die Forschungsprojekte vor Beginn von einer unabhängigen Ethikkommission gemäß den lokalen Gesetzen überprüft und genehmigt werden.
- Die Forscher müssen die Würde und Privatsphäre der Studienteilnehmer und deren Familien respektieren.
- Die Forscher sollen die Best-Practice-Richtlinien einhalten, um die Transparenz der Forschung zu gewährleisten, einschließlich der Registrierung des Studienprotokolls, der sofortigen Berichterstattung über die Ergebnisse und des Datenaustauschs.
- Gesundheitssysteme sollen sicherstellen, dass die Finanzierung der Forschung zum Kreislaufstillstand in einem angemessenen Verhältnis zur gesellschaftlichen Belastung steht, die durch Morbidität und Mortalität in Zusammenhang mit Kreislaufstillständen verursacht wird.

Evidenz, die den Richtlinien zugrunde liegt

Zur Ethik in Bezug auf die COVID-19-Pandemie siehe „Ethische Überlegungen zur Wiederbelebung während der COVID-19-Pandemie“ [4].

Maßnahmen zum Schutz der Autonomie

Die wichtigsten Maßnahmen zum Schutz der Patientenautonomie sind Patientenverfügungen und vorausschauende Behandlungsplanung. Diese Maßnahmen sollen durch einen gemeinsamen Entscheidungsprozess untermauert werden.

Die Variationsbreite in Bezug auf Terminologie, Definitionen, Art und Durchführung von Maßnahmen sowie auf die Auswahl der Kriterien zum Reanimationserfolg macht es schwierig, die Forschungsergebnisse zu bestimmen und zu vergleichen [5, 6]. Vor diesem Hintergrund entwickelte die Autorengruppe Konsensdefinitionen und Aussagen für Patientenverfügungen, vorausschauende Behandlungsplanung und gemeinsame Entscheidungsfindung, die in **Tab. 1, 2 und 3** sowie in der Online-Beilage zusammengefasst sind.

Bei der Entwicklung von Behandlungsleitlinien stützten wir uns auf ethische Grundprinzipien, 29 systematische bzw. Übersichtsreviews und 49 aktuelle Primärforschungsartikel. Wichtige systematische Übersichten und Studien sind im Ergänzungstext, in den Tabellen S2 und S3 und die entsprechenden Schnellreviews 1.1–1.4 in den jeweiligen Anhängen zusammengefasst.

Patientenverfügungen

Die effektive Anwendung von Patientenverfügungen hängt vom genauen und effizienten Austausch von Informationen über Wertvorstellungen, Ziele und Präferenzen des Patienten sowie über verfügbare Behandlungsoptionen ab [5]. In Folge wurden mehrere strukturierte Kommunikationsinstrumente, z. B. Papier-, Video- oder Computerentscheidungshilfen und pädagogische Vorgehensweisen entwickelt, um den Entscheidungsfindungsprozess am Lebensende zu erleichtern [5]. Die Ergebnisse von Metaanalysen randomisierter, kontrollierter Studien (RCT), systematischer Reviews und neuerer Studien legen nahe, dass strukturierte Kommunikationsinstrumente den Abschluss von Patientenverfügungen ebenso unterstützen wie die Übereinstimmung der durchgeführten Betreuung am Lebens-

Tab. 1 Konsensdefinitionen und Aussagen zu Patientenverfügungen

Patientenverfügungen^a

Eine Patientenverfügung ist ein Instrument, das auf Informationen beruht, die sich auf Wertvorstellungen und Zielen einer Person beziehen, in Hinblick auf medizinische Maßnahmen und Behandlungen, die bei der Versorgung am Lebensende eingesetzt werden.

Patientenverfügungen zielen darauf ab, die Patientenautonomie auf Situationen auszudehnen, in denen der/die Betroffene unfähig ist, seine/ihre Wertvorstellungen in Hinblick auf Behandlungsentscheidungen auszudrücken. Sie spiegeln die individuellen moralischen, kulturellen und religiösen Haltungen der Patienten wider. Sie werden in drei Ausführungen dargestellt als Patientenverfügung (Weisungsverfügung), als Ernennung eines Vorsorgebevollmächtigten (oder einer Vorsorgevollmacht) und als Rechtslage von Präferenzen.

Im Prinzip müssen Patientenverfügungen folgende drei Kriterien erfüllen: sie müssen vorliegen, gültig (teilweise durch regelmäßige Überarbeitung realisiert) und anwendbar sein.

Mitarbeiter im Gesundheitswesen sollen sicherstellen, ob ihre Patienten Patientenverfügungen erstellt haben.

Ärzte sollen die Patientenverfügungen ihrer Patienten respektieren und sie in ihre Entscheidungsfindung einbauen.

Ärzte sollen die Patientenverfügungen mit ihren Patienten besprechen.

Insbesondere bei Patienten mit terminalen Erkrankungen sollen Versuche unternommen werden, die Patientenwünsche bezüglich lebenserhaltender Maßnahmen zu erfüllen, solange die Patienten fähig sind, eigene Entscheidungen zu treffen oder alternativ diese Wünsche über ihre Bevollmächtigten einzuholen, wenn die Patienten dazu nicht mehr in der Lage sind.

Es gibt Situationen, in denen eine Patientenverfügung nicht mehr eingeholt werden soll. Zum Beispiel, wenn diese zu einer Handlung aufruft, die per Landesgesetz oder einer anderen Vorschrift verboten ist oder wenn ein überzeugender Hinweis besteht, dass der/die Patient/in seine/ihre Meinung seit der Erstellung der Verfügung geändert hat oder wenn ein Hinweis vermuten lässt, dass der/die Patient/in den Inhalt der erstellten Verfügung nicht verstanden hat oder wenn ein Hinweis besteht, dass der/die Patient/in zur Zeit der Abfassung nicht in voller Entscheidungsfreiheit war.

Wenn sich Patientenverfügungen auf die Ablehnung einer spezifischen Behandlung beziehen, soll umsichtig überlegt werden, ob sich dies auch auf ähnliche, aber doch alternative, Behandlungen bezieht oder nicht. Zum Beispiel kann ein Patient eine spezifische medizinische oder chirurgische Behandlung wegen bestimmter seltener aber schwerer Nebenwirkungen ablehnen. In diesem Fall ist es nicht angebracht, alternative Behandlungen auszuschließen, die ein günstigeres Sicherheitsprofil und eine zur abgelehnten Behandlung vergleichbare Wirksamkeit aufweisen.

Gründe zur Ablehnung der Standardbehandlung einer bestimmten Erkrankung könnten nach der Einführung neuer Interventionen mit günstigerem Sicherheitsprofil und höherer Wirksamkeit nicht mehr gelten. Aufgrund der Tatsache der kontinuierlichen und schnellen Entwicklung der klinischen Praxis, sollen z.B. mehr als 5 Jahre alte und nicht aktualisierte Patientenverfügungen in Zusammenhang mit der Verfügbarkeit neuer, sicherer und potentiell wirksamerer Therapien umsichtig neu interpretiert werden.

Nicht der Norm entsprechende Patientenverfügungen, wie z.B. Tattoos mit dem Hinweis auf eine Ablehnung der kardiopulmonalen Wiederbelebung – DNACPR, sollen nicht sofort als rechtlich gültig wahrgenommen werden, außer die lokale Gesetzgebung gibt dies vor. In Ländern in denen nicht-standardisierte Patientenverfügungen rechtlich anerkannt sind, kann eine CPR, die unter eher aussichtslosen Bedingungen durchgeführt wird, zu einer rechtlichen Anklage des Gesundheitspersonals führen. Folglich sollen unverzüglich alle Anstrengungen unternommen werden, um zu klären, ob eine gültige, geeignete Patientenverfügung existiert.

^aDie Konsensdefinitionen und Aussagen basieren auf 7 Referenzen [7–13]

ende mit der Betreuung, die sich der Patient wünscht [5, 16–22].

Do-not-attempt-CPR(DNACPR)-Entscheidungen sollen Patienten vor invasiven Behandlungen schützen, die diese abgelehnt oder als aussichtslos erachtet haben, oder vor Behandlungen, die nicht mit den Wertvorstellungen und Präferenzen der Patienten übereinstimmen [23]. Hinweise aus 13 RCT und

8 nichtrandomisierten Studien, die in 3 systematischen Übersichtsarbeiten enthalten sind, deuten auf eine Verbindung zwischen der Anwendung kommunikativer Maßnahmen und einer erhöhten Häufigkeit von DNACPR-Anordnungen hin [5, 17, 18, 20].

Vier systematische Reviews berichten über uneinheitliche Ergebnisse hinsichtlich der Auswirkungen von Patien-

tenverfügungen auf die Dokumentation von Patientenwünschen zur Steigerung der Behandlungsintensität und zur Entscheidungsfindung bezüglich Wiederbelebung [6, 19, 20, 24]. Diese Reviews zeigen auch, dass in einigen Studien das Treffen einer DNACPR-Entscheidung Vorteile für die Behandlungsqualität des Patienten bringen kann, z. B. durch adäquaterer Schmerzlinderung und Flüssigkeitszufuhr sowie durch eine verbesserte Reaktion des Gesundheitspersonals auf eine klinische Zustandsverschlechterung.

Jüngste Erkenntnisse aus RCT unterstützen die Verwendung von videobasierten Entscheidungshilfen sowohl im Pflegeheim als auch im Krankenhaus, mit deren Hilfe die Häufigkeit von nichtvorteilhaften Maßnahmen wahrscheinlich verringert wird [25–28]. Unsere jüngsten retrospektiven Studien und eine Übersichtsarbeit zur Prävalenz legen nahe, dass Patientenverfügungen und/oder DNACPR-Entscheidungen mit einer reduzierten Anwendung lebenserhaltender Maßnahmen verbunden sind [29–34].

Aus zwei systematischen Reviews geht hervor, dass die Anwendung von Patientenverfügungen mit einer Verringerung der Notaufnahme- und der Krankenhauseinweisungen, der Kosten für die Gesundheitsversorgung und einer stärkeren Bevorzugung des individuellen Wohlbefindens im Gegensatz zu lebenserhaltenden Maßnahmen verbunden ist [5, 18]. Die Auswirkungen auf den Reanimationserfolg wie die Verweildauer im Krankenhaus bzw. auf der Intensivstation und die Präferenz der Patienten für die Betreuung am Lebensende sind weniger eindeutig. Diese uneinheitlichen Erkenntnisse können teilweise auf die Heterogenität zwischen Studien hinsichtlich der Bevölkerung, der Maßnahmen und der Vergleichsgruppe zurückgeführt werden. Trotz Limitationen unterstützen die Erkenntnisse aus Studien zu Patientenverfügungen im Allgemeinen die Verwendung strukturierter Kommunikationsinstrumente [5].

Symptomorientierte Maßnahmen sind der Schlüssel zur Verbesserung der Erfahrungen von sterbenden Patienten am Lebensende [35]. In 15 RCT, die in eine systematische Übersichtsarbeit

Tab. 2 Konsensdefinitionen und Aussagen zur vorausschauenden Behandlungsplanung**Vorausschauenden Behandlungsplanung^a**

Ein Prozess, der Personen befähigt, Ziele und Präferenzen für eine zukünftige Behandlung und Versorgung zu definieren, diese sorgfältig mit der Familie und dem Gesundheitspersonal zu diskutieren, niederzuschreiben und wenn nötig zu überarbeiten. Das Hauptziel einer vorausschauenden Behandlungsplanung ist, unterstützend sicherzustellen, dass die Betroffenen jene medizinische Versorgung erhalten, die mit ihren Wertvorstellungen, Zielen und Präferenzen während einer ersten, chronischen und / oder akuten lebensbedrohlichen Erkrankung übereinstimmen.

Bestandteile der vorausschauenden Behandlungsplanung können Kommunikationswerkzeuge wie Broschüren, Informationsfalter oder videobasierte Entscheidungshilfen sein.

Im Hinblick auf besondere Bevölkerungsgruppen mit krankheitsbezogener, sehr starker Einschränkung oder sogar einem kompletten Fehlen eigenständiger Entscheidungsfähigkeit, wie z.B. bei Demenz oder bei Kindern mit geistiger Behinderung und lebens einschränkender Erkrankung, ist es aufgrund zu geringer oder vollständig fehlender Evidenz nach wie vor unklar, ob eine vorausschauende Behandlungsplanung – basierend auf der Entscheidungsfindung durch dazu Bevollmächtigte – dazu beitragen kann, deren gesundheitsbezogene Qualität am Lebensende positiv zu beeinflussen oder deren psychische Belastung, Symptome und Verzweiflung zu verbessern. In der Zwischenzeit soll die vorausschauende Behandlungsplanung für diese Patienten berücksichtigt werden.

Nichtaktualisierte, vorausschauende Behandlungspläne sollen vorsichtig und im Kontext der Verfügbarkeit neuer und verbesserter Therapien interpretiert werden, die potentiell die Präferenzen der Patienten betreffen; auch können sich die Präferenzen der Patienten im Laufe der Zeit und unabhängig von verfügbaren Behandlungsoptionen verändern.

Der kulturelle Hintergrund der Patienten, religiöse Überzeugungen und damit verbundene spirituelle Bedürfnisse sollen in den Entwicklungsprozess der vorausschauenden Behandlungsplanung und etwaigen Überarbeitungen einbezogen und respektiert werden.

Bezüglich therapiebegrenzender Verfügungen deutet eine kürzlich publizierte multizentrische Beobachtungsstudie an, dass therapiebegrenzende Verfügungspraktiken durch den Religionshintergrund sowohl des Patienten als auch des Arztes beeinflusst sein können.

^aDie Konsensdefinitionen und Aussagen basieren auf 3 Referenzen [8, 13, 14]

einbezogen wurden, konnte jedoch kein positiver Effekt der Patientenverfügung auf Angst, Depression, Schmerz, psychisches Wohlbefinden und Gesundheit der Patienten festgestellt werden [18].

In den jüngsten Leitlinien wurde die Zufriedenheit von Patienten und Familien als zentrales Ergebnis angesehen [15]. Daten aus acht RCT, die in drei systematischen Reviews enthalten waren, zeigten, dass Kommunikationsmaßnahmen, die den Abschluss von Patientenverfügungen unterstützen, keinen signifikanten Einfluss auf die Zufriedenheit von Patienten bzw. Familien mit der Betreuung am Lebensende hatten [5, 17, 18]. Weitere 4 RCT, die in einem dieser Reviews enthalten waren, berichteten jedoch über eine Zunahme der Zufriedenheit von Patienten bzw. Familien mit der Betreuung, die mit Kommunikationsmaßnahmen verbunden war [18].

Vorausschauende Behandlungsplanung

Eine vorausschauende Behandlungsplanung kann als das State-of-the-Art-Vor-

gehen zum Schutz der Patientenautonomie angesehen werden. Dieser dynamische Prozess beruht auf einer effektiven und ehrlichen Kommunikation zwischen dem Patienten und seiner Familie sowie den Mitarbeitern der Gesundheitsberufe (Tab. 2).

Die meisten Studien unterstützen die Verwendung der vorausschauenden Behandlungsplanung als Strategie, um sicherzustellen, dass die Betreuung am Lebensende den Wertvorstellungen und Präferenzen des Patienten entspricht, obgleich gewisse Widersprüche zwischen den verfügbaren Aussagen vorliegen [19, 36–41]. Videobasierte Informationen und andere Methoden können die Entwicklung von vorausschauenden Behandlungsplänen unterstützen und dadurch die Übereinstimmung zwischen gewünschter und erhaltener Betreuung erhöhen. Wie effektiv Kommunikationsmethoden zur Erreichung von Übereinstimmungen sind, kann von ihrer Art und dem Kontext abhängen, in dem sie verwendet werden [42–45].

Die Dokumentation der aktuellen Präferenzen einer Person oder eines Patienten hinsichtlich der Behandlungen am Lebensende, einschließlich lebenserhaltender Maßnahmen und Wiederbelebung, ist ein Hauptziel der vorausschauenden Behandlungsplanung (Tab. 2). Mitarbeiter der Gesundheitsberufe können auf diese dokumentierten Präferenzen zugreifen, um potenzielle Behandlungsentscheidungen zu treffen. Aus sechs systematischen Reviews geht hervor, dass die vorausschauende Behandlungsplanung die Dokumentation von Patientenpräferenzen erhöht [36, 39, 41, 46–48]. Neuere Studien berichten ebenfalls über positive Ergebnisse [49–51].

Wir haben hauptsächlich positive Ergebnisse hinsichtlich der Auswirkung der vorausschauenden Behandlungsplanung, mit oder ohne Hilfe von Kommunikationsinstrumenten, auf die Präferenz und/oder den tatsächlichen Einsatz lebenserhaltender Maßnahmen am Lebensende festgestellt. In einer Metaanalyse von sieben RCT reduzierte die Vermittlung über Video die Wahrscheinlichkeit einer Präferenz für Reanimation gegenüber der Kontrollgruppe [52]. Eine weitere systematische Reviewarbeit ergab, dass die vorausschauende Behandlungsplanung mit einem reduzierten Einsatz lebenserhaltender Maßnahmen verbunden war [19]. Im Gegensatz dazu haben zwei RCT und vier Beobachtungsstudien, die in einer anderen systematischen Übersichtsarbeit enthalten waren, nicht über einen signifikanten Zusammenhang zwischen Kommunikationsinstrumenten für die Entscheidungsfindung am Lebensende und dem DNACPR-Status berichtet [53]. Trotzdem legen vier aktuelle RCT [54–57] und eine Querschnittserhebung [58] nahe, dass eine vorausschauende Behandlungsplanung mit weniger häufigen Präferenzen für CPR und/oder die Anwendung lebenserhaltender Behandlungen am Lebensende verbunden ist.

In Bezug auf den Einsatz von Kommunikationsinstrumenten im Rahmen der vorausschauenden Behandlungsplanung konnten wir begrenzte Hinweise dafür finden, ob bei Patienten, die aus einem

Tab. 3 Konsensdefinitionen und Aussagen zur gemeinsamen Entscheidungsfindung**Gemeinsame Entscheidungsfindung^a**

Eine gemeinsame Entscheidungsfindung ist ein gemeinschaftlicher Prozess, der es Patienten oder deren Vertretern und einem möglichst bzw. vorzugsweise multidisziplinären Team des Gesundheitspersonals erlaubt, einen Konsens zu Behandlungsstrategien und -maßnahmen zu erreichen, einschließlich der Begrenzung lebensrettender Maßnahmen und einer palliativen Versorgung, die mit den Wertvorstellungen, Zielen und Präferenzen der Patienten übereinstimmen. Gesundheitsentscheidungen sollen die bestverfügbare wissenschaftliche Evidenz berücksichtigen. Ehrlicher Informationsaustausch soll die Entwicklung von Vertrauen bzw. Partnerschaft zwischen Patienten, deren Vertretern und Ärzten unterstützen. Ärzte sollen in kommunikativen Fertigkeiten geschult sein. Gemeinsame Entscheidungsfindungen sollen durch Forschung mit dem Focus auf die von Patienten bzw. deren Vertretern berichteten Ergebnisse evaluiert werden.

Der gemeinsame Entscheidungsfindungsprozess soll Informationsaustausch, Beratung und Behandlungsentscheidungen beinhalten.

Gemeinsame Entscheidungsfindung soll möglichst Teil der Verwendung der aktuellen Leitlinien zur familienzentrierten Versorgung sein.

Gemeinsame Entscheidungsfindung soll alle bestehenden und dokumentierten Patientenziele, Wertvorstellungen und Präferenzen berücksichtigen, die entweder als „isolierte“ Behandlungsvorgaben oder im Kontext der vorausschauenden Behandlungsplanung abgeschlossen wurden.

^aDie Konsensdefinitionen und Aussagen basieren auf 3 Referenzen [8, 14, 15]

Krankenhaus- bzw. Intensivaufenthalt keinen Nutzen mehr ziehen, auch deren Verweildauer reduziert worden wäre. In Metaanalysen, die fünf RCT und acht Beobachtungsstudien umfassten, hatten Kommunikationsinstrumente keinen Einfluss auf die Verweildauer auf der Intensivstation [53]. Obwohl eine Metaanalyse von drei Beobachtungsstudien ergab, dass Kommunikationsinstrumente mit einer verkürzten Verweildauer auf der Intensivstation von Nichtüberlebenden verbunden sind, wurde dies in einer RCT nicht bestätigt [53]. Eine Metaanalyse von fünf Beobachtungsstudien ergab, dass Kommunikationsinstrumente mit reduzierten Krankenhauskosten verbunden sein können. Eine RCT und zwei weitere Beobachtungsstudien berichten jedoch nicht über Auswirkungen von Kommunikationsinstrumenten auf die Krankenhauskosten bei Nichtüberlebenden auf der Intensivstation. Eine RCT berichtet über eine Verkürzung der Dauer der mechanischen Beatmung mit Kommunikationsinstrumenten, zwei weitere RCT und zwei Beobachtungsstudien konnten diesen Nutzen jedoch nicht bestätigen [53].

Die Auswirkungen der vorausschauenden Behandlungsplanung auf Krankenhaus- bzw. Intensivstationseinweisungen, Ressourcennutzung im Gesundheitswesen, Sterben am bevorzugten Ort, Hospiznutzung, Überweisungen zur Pal-

liativversorgung, Gesundheitskosten sowie Qualität von Sterben und Tod sind zwischen den Studien uneinheitlich [19, 36, 39, 40, 45, 47, 52, 58–67].

Aus systematischen Übersichtsarbeiten geht hervor, dass eine vorausschauende Behandlungsplanung mit einer Verbesserung der symptomorientierten Maßnahmen und der Lebensqualität verbunden ist [19, 39, 40, 46, 47, 59, 68]. Drei kürzlich durchgeführte RCT fanden jedoch keinen Nutzen in Bezug auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität der Patienten, auf körperliche bzw. funktionelle Ergebnisse und auf Angstzustände oder Depressionen [62, 69, 70].

Eine kürzlich veröffentlichte Cluster-RCT in Pflegeheimen berichtete über einen Rückgang der Entscheidungskonflikte bei pflegenden Familienangehörigen durch die vorausschauende Behandlungsplanung [71]. Eine Querschnittsbefragung [58] und eine historisch kontrollierte, prospektive Studie [66] berichten über Zusammenhänge der vorausschauenden Behandlungsplanung mit guter Lebensqualität und verminderter Leiden bei Kindern, Jugendlichen [58, 66] oder Erwachsenen [58] mit komplexen chronischen Erkrankungen; vorausschauende Behandlungsplanung war auch mit einem verringerten Leiden der Eltern oder einer geringeren Belastung der Pflegekräfte verbunden.

Aus vier systematischen Reviewarbeiten geht hervor, dass eine vorausschauende Behandlungsplanung die Zufriedenheit der Patienten bzw. Familien mit der Betreuung verbessern kann [19, 40, 46, 47, 53]. Eine kürzlich durchgeführte multizentrische RCT an fortgeschrittenen Krebspatienten berichtete jedoch, dass Beratungsgespräche und frühzeitige Palliativversorgung die Zufriedenheit der Familie mit der Betreuung nicht beeinträchtigten [62].

Eine spezifische und angemessene Ausbildung der Mitarbeiter der Gesundheitsberufe ist der Schlüssel zur Verbesserung der Qualität der Versorgung am Lebensende [72]. Die Ergebnisse von 21 Studien (RCT, $n=3$), die in eine systematische Übersichtsarbeit einbezogen wurden, deuten darauf hin, dass die Maßnahmen zum Training von Kommunikationsfähigkeiten das Wohlbefinden, das Selbstbewusstsein und die Bereitschaft von Mitarbeitern zur Betreuung am Lebensende erhöhen [46]. In einer interviewbasierten Studie, die in ein systematisches Review einbezogen wurde, haben Gespräche über die vorausschauende Behandlungsplanung und das Selbstvertrauen der Mitarbeiter der Gesundheitsberufe im Umgang mit den Patienten gestärkt [38].

Gemeinsame Entscheidungsfindung

Gemeinsame Entscheidungsfindung ist ein individualisierter, gemeinschaftlicher und mehrstufiger Prozess, der darauf abzielt, wichtige und präferenzsensible Behandlungsentscheidungen zu treffen (■ Tab. 3; [14]). Das Konzept untermauert alle patientenorientierten Entscheidungen im Gesundheitswesen.

Eine effektive Kommunikation über die Betreuung am Lebensende beruht auf einem im Konsens getroffenen Entscheidungsprozess. In einer systematischen Übersichtsarbeit [73] und in jüngsten Studien wurde gezeigt, dass diese Anwendung die Betreuung am Lebensende verbessert, insbesondere hinsichtlich der Übereinstimmung zwischen gewünschter und erhaltener Betreuung [69, 74–78]. Studien, die über die Auswirkungen auf die Qualität der Versorgung und symptomorientierte Maßnahmen berichten,

haben jedoch zu widersprüchlichen Erkenntnissen geführt [73].

Aus Sicht des Gesundheitswesens kann eine gemeinsame Entscheidungsfindung die angemessene Zuweisung von Ressourcen unterstützen, indem sichergestellt wird, dass die Behandlung der Patienten mit deren Wertvorstellungen und Präferenzen übereinstimmt. Die Anwendung von Maßnahmen, die auf dem Konzept einer effektiven gemeinsamen Entscheidungsfindung basieren, kann mit einer kürzeren Verweildauer auf der Intensivstation bzw. im Krankenhaus, der Auswahl von Palliativpfaden in Pflegeheimen sowie geringeren Kosten für die Gesundheitsversorgung und weniger innerklinischen Todesfällen verbunden sein, obwohl der Beleg dazu aus systematischen Übersichtsarbeiten und aktuellen Studien widersprüchlich ist [73, 75, 77, 79–87].

Die Familienmitglieder der Patienten können von deren Krankheit emotional betroffen sein. Bis zu 50 % der Familienmitglieder kritisch kranker Patienten leiden unter psychischen Symptomen wie akutem Stress, posttraumatischer Belastungsstörung, Angstzuständen, Depressionen und Entscheidungskonflikten [15, 88–90]. Interventionen zur Unterstützung der Familie können dazu beitragen, diese psychologischen Auswirkungen zu verringern, wie aus vier systematischen Reviewarbeiten [46, 79, 80, 91] und zwei aktuellen Studien hervorgeht [92, 93]. Einige neuere Studien ergeben jedoch, dass Maßnahmen zur Unterstützung der Familie die psychischen Symptome bei Familienmitgliedern nicht reduzieren [74, 75, 83, 87].

Die Zufriedenheit von Patienten und Familien ist ein zentrales Ziel der patienten- und familienorientierten Kommunikation und Betreuung. Die Kommunikation im Kontext gemeinsam getroffener Entscheidungen ist mit einer höheren Zufriedenheit von Patienten und Familien und einer erhöhten Entscheidungsfähigkeit verbunden, wie aus vier systematischen Übersichtsarbeiten hervorgeht [73, 79, 80, 82]. Zu den Hauptkomponenten dieses Ansatzes gehören eine offene, ehrliche, klare und häufige Kommunikation und die Einbeziehung von Familienmitgliedern in die Gespräche mit dem medi-

zinischen Fachpersonal [91]. Aufzeichnungen von Konferenzen zwischen Ärzten und Familienmitgliedern lassen vermuten, dass die Kommunikation häufig nicht optimal verläuft, sodass die Wertvorstellungen und Präferenzen des Patienten nur selten eruiert werden [94]. Die Verwendung strukturierter Kommunikationsinstrumente kann dazu beitragen, die Kommunikation mit Familien zu verbessern, wie aus zwei systematischen Reviews hervorgeht [46, 53]. Neuere Studien zufolge kann die Kommunikation, wenn sie von anderen Instrumenten wie Videoentscheidungshilfen unterstützt wird, mit einer verbesserten Familienzufriedenheit einhergehen [75, 83, 86].

Wichtige Maßnahmen zum Schutz der Autonomie unter COVID-19

In Zeiten von Krisen im Bereich der öffentlichen Gesundheit wie der COVID-19-Pandemie kann die Bedeutung einer bereits vorhandenen Dokumentation der Patientenwünsche bezüglich lebenserhaltender Maßnahmen, einschließlich mechanischer Beatmung und Wiederbelebung, zunehmen, insbesondere bei überlasteten Gesundheitssystemen mit begrenzten Ressourcen [95–97]. In Ermangelung von Patientenverfügungen sollen Mitarbeiter der Gesundheitsberufe aktiv versuchen, Entscheidungen zur Therapiesteigerung gemeinsam mit den Patienten zu treffen, besonders bei Patienten mit hohem Sterberisiko [98]. Idealerweise soll dies für alle Situationen im Gesundheitswesen gelten, unter Verwendung digitaler Kommunikationsmedien, dort wo dies angemessen und durchführbar ist [95–97]. Die Gespräche sollen sich auf die Ermittlung von Wertvorstellungen und Präferenzen der Patienten konzentrieren, anstatt diese zu bitten, eine Behandlungsoption zu wählen [99]. Entscheidungen zur Therapiezieländerung, wie z. B. DNACPR, sollen auf einer personalisierten Patientenbewertung beruhen, die sich auf klinische und wissenschaftliche Erkenntnisse [100], die Wertvorstellungen und Präferenzen des Patienten und auf den lokalen Kontext, wie z. B. die Verfügbarkeit von Ressourcen, stützt. Eine Entscheidungsfindung, die auf einzelnen Faktoren wie Alter, Geschlecht, Rasse, Religion/ethnischer

Zugehörigkeit, geistiger Behinderung und sozioökonomischem Status basiert, ist ethisch nicht vertretbar [95, 96, 100, 101]. Eine Diskriminierung aufgrund des COVID-19-Zustands eines Patienten muss ebenfalls vermieden werden [102].

Strukturierte Maßnahmen einer vorausschauenden Behandlungsplanung können persönliche Gespräche zwischen dem Patienten – häufig unter Einbindung von Familienmitgliedern – und einer medizinischen Fachperson über einen bestimmten Zeitraum umfassen [55]. Krisen im Gesundheitswesen wie die COVID-19-Pandemie mit der Vorgabe der räumlichen Distanzierung können solche Maßnahmen naturgemäß behindern. Obwohl digitale Kommunikationsmedien die persönliche Anwesenheit während eines Gesprächs nicht unbedingt notwendig machen, sollen die technische Verfügbarkeit und die Fähigkeit der Patienten bzw. der Bevollmächtigten zur adäquaten Nutzung nicht immer als selbstverständlich betrachtet werden. Zugleich besteht möglicherweise ein erhöhter Bedarf an der Verbreitung und sogar Beschleunigung der vorausschauenden Behandlungsplanung, um die Verschwendung potenziell knapper Ressourcen bei unverhältnismäßigen und/oder unerwünschten, hochinvasiven Maßnahmen am Lebensende zu verhindern [97]. Ein derartig erhöhter Bedarf soll ausschließlich durch Verbesserungen in der Organisations- und Infrastruktur, der öffentlichen Kommunikation und Bewusstseinsbildung sowie durch eine wirkungsvolle Vermeidung von Gesundheitsfehlinformationen erreicht werden [1, 2]. Jede Form von psychischem Druck in Zusammenhang mit der grundsätzlichen Diskriminierung gebrechlicher Menschen soll als ethisch inakzeptabel angesehen werden [100]. Für Notfallpatienten mit hohem Risiko für einen schweren COVID-19-Verlauf und ohne bislang durchgeführte vorausschauende Behandlungspläne kann die Beiziehung eines Palliativteams in der Notaufnahme, das sich für qualitativ hochwertige Gespräche zum weiteren, medizinisch-pflegerischen Vorgehen mit dem Patienten und/oder Bevollmächtigten einsetzt, eine praktikable Alternative

sein. Solche Maßnahmen können die Häufigkeit zeitkritischer Entscheidungen über die Wiederbelebung und andere lebenserhaltende Maßnahmen sowie über die Symptomlinderung erhöhen [103].

Gemeinsam getroffene Entscheidungen werden dann schwieriger, wenn eine persönliche Kommunikation nicht möglich ist. In Zusammenhang mit COVID-19 war der Besuch in vielen Krankenhäusern eingeschränkt. Die erhöhte Arbeitsbelastung begrenzte möglicherweise die Zeit, die den Mitarbeitern im Gesundheitsbereich zur Verfügung stand, um ausführliche Gespräche mit Patienten und deren Familien zu führen. Unter diesen Umständen kann die Verwendung von Telekonferenzen ein akzeptabler und praktikabler Ansatz sein, um die patientenzentrierte Kommunikation mit Familien aufrechtzuerhalten und um gemeinsam getroffene Entscheidungen in den klinischen Verlauf zu integrieren.

Die Entscheidung, wann mit der kardiopulmonalen Wiederbelebung (CPR) begonnen und wann sie abgebrochen werden soll

Die entsprechenden Schnellreviews 2.1–2.7 sind in den jeweiligen Anhängen zusammengefasst (S. 167–310 der Online-Beilage).

Regeln zum Abbruch der Reanimation

Der 2020 International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) Consensus on Science and Treatment Recommendations (mit sehr geringer Evidenz) [104]. Bei der Abgabe der Empfehlung bestätigte die ILCOR Task Force für Ausbildung, Implementierung und Teams (EIT) die Vielfalt der Patientenvorstellungen, der verfügbaren Ressourcen und der Bedeutung der ToR-Regeln in verschiedenen Situationen. Die Task Force versucht, das Risiko bei der Umsetzung der ToR-Regeln, nämlich dass potenziell zu rettende Patienten nicht mehr weiter reanimiert werden, abzuwägen, entgegen aktuell unterschiedlichen Vorgehensweisen, um die Entscheidungen zur Beendigung der

Reanimationsmaßnahmen generell zu verbessern. Die ToR-Regeln können die Nachfrage nach Krankenhausressourcen verringern und die Sicherheit der Rettungskräfte erhöhen, indem die Anzahl der Patienten verringert wird, die im Kreislaufstillstand ins Krankenhaus transportiert werden.

Allgemein besteht Einigkeit darüber, dass nicht bei allen Patienten Wiederbelebnungsmaßnahmen gesetzt werden sollen. Diese Sichtweise spiegelt beides wider, sowohl medizinische als auch ethische Perspektiven, einschließlich des potenziellen Schadens durch Wiederbelebnungsmaßnahmen bzgl. Würde, Wahrnehmung der Betroffenen, Irreführung von Verwandten usw. Dies betrifft ebenso die Risiken bei Überlebenden mit einem ungünstigen Reanimationserfolg bezüglich der damit verbundenen Belastung der Betreuer, der Risiken für das medizinische Behandlungspersonal, der medizinischen Kosten und der Aufrechterhaltung der medizinischen Ressourcen. Viele Autoren verteidigen nachdrücklich das Recht des Einzelnen, in einer Gesellschaft zu sterben, in der immer höher entwickelte medizinische Techniken das Leben auf Kosten der Lebensqualität und der guten palliativen Versorgung verlängern können [105, 106]. Die Verlängerung eines unvermeidlichen Sterbeprozesses soll als etwas betrachtet werden, das Leid verursacht (Dysthanasie). In der Praxis ist es oft schwierig, jene Betroffenen zuverlässig zu identifizieren, die im Falle eines Kreislaufstillstands einen ungünstigen Reanimationserfolg aufweisen werden [107–111].

Mit dem Begriff Aussichtslosigkeit wurde bislang eine Überlebenswahrscheinlichkeit von weniger als 1 % verbunden [112]. In jüngerer Zeit wurde dieser Begriff infrage gestellt, weil weder der neurologische bzw. funktionelle Reanimationserfolg von Überlebenden noch allgemeinere gesellschaftliche Überlegungen, z. B. gegenseitige Abstimmungen zwischen Behandlungsunternehmen, berücksichtigt wurden [112–114]. In einer Literaturstelle wurden relevante Fragen zur Fairness des Begriffs gestellt, wenn die Möglichkeit für einen unbewussten Bias besteht, der auf sozioökonomischen und demografi-

schen Faktoren wie dem sozialen Status, der Angst vor Rechtsstreitigkeiten oder dem Gesamteindruck des Patienten beruht [115–117]. Die Beurteilung von Aussichtslosigkeit ist zeitabhängig und kontextbezogen und beinhaltet oft auch religiöse oder spirituelle Überzeugungen [118, 119]. Patienten und Familien definieren Aussichtslosigkeit möglicherweise ganz anders als medizinisches Personal. Deutliche Unterschiede sind zwischen verschiedenen Berufsgruppen zu beobachten. Vielen Ärzten fehlt das nötige Selbstvertrauen, ToR-Entscheidungen zu treffen. Einige berichten, dass sie nichtvalidierte oder kontroverse Faktoren als einzigen Grund für die Beendigung der Wiederbelebung verwenden [114, 115, 120–130]. Die Entscheidungsfindung wird im Kontext neuerer erweiterter Wiederbelebnungstechniken noch komplexer.

Das Feststellen eines ungünstigen Reanimationserfolgs ist stets eine Herausforderung. Der Cut-off einer Cerebral Performance Category (CPC) von 2 kann sich in einer Bandbreite funktioneller Ergebnisse niederschlagen. Darüber hinaus ist die Bewertung eines Reanimationserfolgs einer Person wahrscheinlich subjektiv geprägt [113]. Die Gesellschaft, Mitarbeiter im Gesundheitswesen oder sogar Verwandte sollen nur mit größter Vorsicht festlegen, ob ein bestimmtes Leben nicht mehr lebenswert ist. Dies gilt insbesondere, wenn diese Festlegung gegen Kosten oder gesellschaftliche Interaktionsprozesse abgewogen wird, da hierbei ein großes Risiko besteht, zulässige ethische Grenzen schnell zu überschreiten [131, 132]. Als solches hat es eine Verschiebung von der Aussichtslosigkeit hin zur Berücksichtigung des umfassenderen „Konzepts der besten Interessen“ gegeben, bei der eher die Belastung als der Nutzen bewertet wird.

Die Entscheidungsfindung in Bezug auf die Nichteinleitung oder den Abbruch der Wiederbelebnungsmaßnahmen erfolgt in einem rechtlichen Rahmen, der Vorrang vor ethischen Konzepten hat [133]. Die ILCOR Task Force für Ausbildung, Implementierung und Teams (EIT) hebt in ihren Erkenntnissen die Notwendigkeit hervor, die lokale Gesetzgebung zu berücksichtigen [104].

Es gibt wichtige Unterschiede zwischen dem Nichteinleiten und dem Abbruch der Wiederbelebung und dabei zwischen dem innerklinischen und dem präklinischen Setting. Im prähospitalen Setting kommen Rettungsteams häufig erst dann am Einsatzort an, wenn bereits Wiederbelebungsmaßnahmen durchgeführt werden. Sie können sich dann nur für einen Abbruch der Wiederbelebung entscheiden und nicht dafür, diese nicht einzuleiten. Die Teams verfügen häufig nur über begrenzte Informationen zur Krankengeschichte des Patienten sowie zu dessen Wertvorstellungen und Präferenzen und sind möglicherweise nicht in der Lage, Behandlungsoptionen mit Familienmitgliedern zu besprechen. Wenn Ungewissheit über die Angemessenheit des Reanimationsabbruchs besteht, soll der Schwerpunkt auf der Patientenbehandlung liegen; mit der Perspektive, die Behandlung dann zu überdenken, wenn die Wertvorstellungen und Präferenzen des Patienten sowie der klinische Verlauf bekannt sind [106, 110].

Der ILCOR CoSTR empfiehlt, dass keine der ToR-Regeln allein dafür bestimmend sein soll, ob die Wiederbelebung abgebrochen werden soll [104]. ToR-Regeln führen unweigerlich zu einer sich selbst erfüllenden Prophezeiung und sollen regelmäßig überprüft werden, wenn sich neue Behandlungen entwickeln. Intra-Arrest-Faktoren allein sind nicht zuverlässig genug, um isoliert zum Abbruch der Wiederbelebung verwendet zu werden [134–143]. Kriterien, die nicht allein verwendet werden sollen, sind z. B. Serumkalium, endtidales CO₂, Kreislaufstillstand im Ultraschall, Pupillenreaktion bzw. -größe, Temperatur, Komorbidität, Ursache des Kreislaufstillstands, Zeit ohne Herzauswurf, Zeit mit geringem Auswurf und die Abwesenheit von ROSC.

Der ILCOR CoSTR fasst mehrere ToR-Regeln zusammen [144, 145]. Einige Faktoren ziehen sich durch alle Regeln, z. B. ob der Kreislaufstillstand beobachtet wurde. Eine zentrale Herausforderung in der Verwendung dieser Regeln stammt von der Unsicherheit ihrer Verwendbarkeit in anderen Situationen der Gesundheitsversorgung sowie von der Herausforderung in der

Einschätzung der Anzahl nichterkannter potenzieller Überlebender bei der Verwendung der Regeln [111, 112, 146–152].

Für bestimmte Gruppen, wie z. B. Kinder, gibt es spezifische Leitlinien [153]. Trotz unterschiedlicher Pathophysiologie und Ätiologie ist der ethische Rahmen beim pädiatrischen Kreislaufstillstand ansonsten ähnlich, obwohl viele Ärzte beim Abbruch der Wiederbelebung eines Kindes möglicherweise vorsichtiger sind [107, 154, 155].

Typisch, aber nicht nur für Kinder wichtig ist das Mandat und die Rolle von stellvertretenden Entscheidungsträgern. Die Zeit ist oft begrenzt, um während eines Kreislaufstillstands zu gemeinsamen Entscheidungen zu gelangen. Darüber hinaus ist die Wahrscheinlichkeit einer wirklich informierten, unvoreingenommenen Einwilligung gering. Dabei ist unklar, ob das beste Interesse des Patienten nicht mit den Rechten und Interessen der Angehörigen in Konflikt steht [156]. Wenn Eltern beispielsweise in die Lage versetzt werden, auf Wiederbelebungsmaßnahmen zu verzichten, kann dies die Trauer und Hilflosigkeit der Eltern verstärken [156]. Daher sollen Ärzte die primäre berufliche und moralische Verantwortung für die Entscheidung tragen und ein Modell der informierten Einwilligung der Eltern verwenden, um respektvolle Meinungsverschiedenheiten zu berücksichtigen. Dennoch können lokale Vorschriften und Gesetze die Zustimmung des aktuellen Vormunds erfordern.

„Slow code“

Ein „slow code“ ist ein umgangssprachlicher Ausdruck für die irreführende Praxis, absichtlich eine suboptimale Reanimation durchzuführen, mit dem Vorwand, das Leben des Patienten zu retten. Es gibt Hinweise darauf, dass sowohl beim innerklinischen als auch beim präklinischen Kreislaufstillstand „slow codes“ durchgeführt werden, selbst wenn die Reanimation als nicht vorteilhaft für den Patienten angesehen wird [157–159].

Die Verwendung des „slow code“ ist ethisch äußerst problematisch, obwohl einige unter bestimmten Umständen dafür plädiert haben [160, 161]. Einige Alternativen wurden beschrieben, die

ethisch eher vertretbar sind, wie z. B. der informierte Nichtwiderspruch, der maßgeschneiderte Code oder die frühzeitige vorausschauende Behandlungsplanung mit offener Kommunikation.

Mehr Ausbildung über Ethik in der Wiederbelebung könnte sich positiv auf diesen Themenbereich auswirken.

Extrakorporale (E)-CPR

Die Ethik-Autorengruppe des European Resuscitation Council (ERC) erkennt die 2000 ILCOR CoSTR für ALS und EPALS an, die die Verwendung von E-CPR als rettende Therapie für ausgewählte Patienten im Kreislaufstillstand unterstützen, wenn die konventionelle CPR in Situationen, in denen E-CPR möglich ist, fehlgeschlagen ist (schwache Empfehlung, sehr geringe Evidenzsicherheit) [162, 163].

Zur Untermauerung unserer Erkenntnisse haben wir sechs systematische [164–169], vier narrative Reviews [170–173] und 13 Beobachtungsstudien [76, 148, 168, 174–183] zu diesem Thema gefunden. Andere Quellen wie Kommentare und ethische Dissertationen wurden als indirekte Informationen angesehen.

Die Evidenzbasis für die Kosteneffizienz und den ethischen Rahmen von E-CPR ist begrenzt. Für den innerklinischen Kreislaufstillstand kann E-CPR kostengünstig sein, vorausgesetzt, sie ist auf bestimmte Patientengruppen beschränkt.

Das anwachsende Kosten-Nutzen-Verhältnis wird vor allem durch die Überlebenswahrscheinlichkeit beeinflusst, obwohl über große Unterschiede bei den innerklinischen Kostenschätzungen berichtet wird.

Die beteiligten Ärzte sollen sachkundig sein und die verfügbaren Ressourcen ordnungsgemäß einsetzen. In 224 nordamerikanischen Krankenhäusern, die am Get-with-the-Guidelines-Resuscitation-Register der American Heart Association (AHA) teilnehmen, erhielten zwischen 2000 und 2018 weniger als 1 % der Patienten eine E-CPR, was auf einen weiteren Bedarf an optimierter Patientenauswahl und an Implementierungsstrategien für E-CPR hinweist [178, 179]. Ein systematisches Review untersuchte die E-CPR bei therapierefraktärem präklinischem

Kreislaufstillstand von Erwachsenen kardialen Ursprungs [165]. Sie urteilten, dass dies machbar ist und sowohl das neurologisch intakte Überleben als auch die Organspende durch Nichtüberlebende erhöhen könnte. Die Implementierung in vorhandene Rettungsdienste ist eine Herausforderung und erfordert detaillierte Protokolle für die Patientenauswahl und den Transport [168, 181–183]. Die Ethik-Autorengruppe stellt fest, dass mehr Forschung zur Patientenauswahl, zu veränderbaren Ergebnisvariablen, zum Nutzen-Risiko-Verhältnis und zur Kostenwirksamkeit der E-CPR dringend erforderlich ist. Solche Daten sind für die Umsetzung von E-CPR-Programmen von entscheidender Bedeutung.

Organspende

Patienten mit Kreislaufstillstand sind eine wichtige Quelle für Spenderorgane, vor allem, weil eine schwere neurologische Verletzung häufig eine Todesursache ist [184–186]. Es gibt drei Wege, auf denen Patienten mit Kreislaufstillstand Organe spenden können: nach Bestätigung des Hirnstammtods, nach Absetzen einer lebenserhaltenden Behandlung, die zum Tod im Kreislauf führt (kontrollierte Organspende nach dem Kreislauf-tod), oder wenn Wiederbelebungsversuche zur Erreichung des ROSC erfolglos waren (unkontrollierte Organspende nach dem Kreislauf-tod). Weitere Informationen zu diesen Behandlungspfaden finden Sie in den Abschnitten Postreanimationsbehandlung [187] und Erweiterte lebensrettende Maßnahmen für Erwachsene [188]. Dieser Abschnitt befasst sich mit der Ethik der Organspende.

Wir haben zwei systematische und [186, 189] vier narrative Reviewarbeiten [190–193], fünf Beobachtungsstudien [194–198] und einige zusätzliche Leitartikel und ethische Dissertationen in die Beurteilung aufgenommen.

In ganz Europa gibt es Unterschiede bei den Organspenderraten, der Verfügbarkeit von Organspendepfaden sowie den Gesetzen und Richtlinien zur Regulierung der Organspende (World Health Organization Collaborating Centre on Organ Donation and Transplantation 2019). Der Mangel an verfügbaren Spenderorganen ist eine ständige Her-

ausforderung in ganz Europa und trägt zur vorzeitigen Morbidität und Mortalität bei Personen mit Organversagen bei. Nach einem tragischen Ereignis bietet die Organspende die Möglichkeit, den Wunsch des Spenders zu respektieren und der Gesellschaft zu dienen. Für Angehörige eines Organspenders, die einer Organspende zugestimmt haben, kann es sich wohltuend auf ihre Trauer auswirken, anderen Menschen zum Leben verholfen zu haben [198]. Organspenden werden im Allgemeinen von der Gesellschaft unterstützt, obwohl das Ausmaß der Unterstützung je nach kultureller Gruppe und zwischen Einzelpersonen unterschiedlich ist [191, 196].

Ein zentrales Thema ist die Notwendigkeit, dass sowohl Familienmitglieder als auch die Gesellschaft darauf vertrauen, dass eine Organspende nur dann in Betracht gezogen wird, wenn eine fortlaufende Behandlung kein für den Patienten wichtiges Ergebnis erzielt. Beispiele für Schutzmaßnahmen zur Aufrechterhaltung dieses Vertrauens sind die Einhaltung der Dead-Donor-Regel, d. h. einer klaren Trennung zwischen Behandlungs- und Transplantationsteam sowie einer transparenten Kommunikation mit Familienmitgliedern vor der Organentnahme. Ein Review über die Einstellungen zur Organspende ergab, dass sowohl allgemeine als auch Ethik-Ausbildungen dazu beitragen können, die Politik zu leiten sowie Anfragen von Familienmitgliedern und den Dialog zur Einverständniserklärung zu erleichtern [190]. Wenn Familien nicht nur medizinische und rechtliche Kriterien für die Feststellung des Todes, sondern auch ethische Kriterien für den Entzug der Lebenserhaltung verstehen und akzeptieren, können sie sich bei ihrer Entscheidung wohler fühlen.

Eine unkontrollierte Organspende nach dem Kreislauf-tod wirft ethische Herausforderungen auf [195, 199]. Insbesondere erfordert die zeitkritische Natur des Prozesses normalerweise die Einleitung von Organerhaltungsprozessen vor der Familienkonsultation, um die Lebensfähigkeit der Organe aufrechtzuerhalten [196, 200, 201]. Patienten mit Kreislaufstillstand können Kriterien sowohl für unkontrollierte Organspenden als auch für E-CPR-Programme erfüllen

[165, 167, 189]. In Zentren, die beide Modalitäten anbieten, soll eine unkontrollierte Organspende nur bei Patienten in Betracht gezogen werden, die die klinischen Kriterien für eine E-CPR nicht erfüllen, um den Verlust potenziell rettbarer Leben zu verhindern [171]. Eine ausführlichere Diskussion finden Sie in der Beilage.

Mehrere Autoren schlagen vor, dass die Reanimation zur Erhaltung des Organs nur für Patienten in Betracht gezogen werden soll, die hirntot sind oder bei denen ein Hinweis auf Aussichtslosigkeit, ein bekannter Wunsch nach Organspende und eine spezifische Einverständniserklärung eines Angehörigen vorliegt [171, 200, 202, 203].

Familienpräsenz während der Wiederbelebung

In unserer Literaturrecherche haben wir uns nicht speziell mit der Anwesenheit von Eltern während der Wiederbelebung eines Kindes befasst, da dies voraussichtlich Gegenstand eines bestimmten CoSTR der ILCOR Task Force für Kinder sein wird. Unsere Ergebnisse gelten jedoch gleichermaßen für diesen Kontext und wir verweisen auch auf die ERC-Leitlinien von 2015 [7, 204]. Für die Anwesenheit der Familie während der Wiederbelebung haben wir eine Leitlinie [205], zwei systematische Reviews [206, 207], fünf narrative Reviews [208–212], eine RCT [213] und drei Beobachtungsstudien [214–216] sowie mehrere ethische Dissertationen und Meinungsbeiträge identifiziert.

Die vorliegende Evidenz weist darauf hin, dass die Anwesenheit der Familie während der Reanimation den Reanimationserfolg nicht beeinflusst, aber das psychische Wohlbefinden der Familienmitglieder verbessern kann.

Auf dieser Grundlage sollen Teams Familienmitgliedern die Möglichkeit bieten, während der Wiederbelebung in Situationen anwesend zu sein, in denen Sicherheit besteht und die Familie angemessen unterstützt werden kann.

Reanimation nach Selbstmordversuch

Diese Empfehlung basiert auf einer Reviewarbeit [217] sowie einer Beobach-

tungsstudie [218], weiters wurden zusätzliche Quellen zur Evidenzfindung herangezogen.

Das ERC-Ethikkapitel 2015 beschäftigte sich mit der Fragestellung, ob ein Patient zum Zeitpunkt des Suizidversuchs geistig zurechnungsfähig ist [7]. Auf dieser Grundlage empfahl die Leitlinie, die Behandlung zu beginnen, um Schaden durch verzögerte medizinische Maßnahmen zu vermeiden. Maßgeblich für die Entscheidungsfindung ist dabei die Einschätzung der geistigen Urteilsfähigkeit. Letztere ist definiert als ausreichendes Verstehen der Art, des Zwecks und der Auswirkungen der geplanten Behandlung und als Fähigkeit, die Behandlungsinformationen wahrzunehmen und zu verstehen, den Informationen zu vertrauen und gegen andere Faktoren abzuwägen, um eine Entscheidung zu treffen [219]. Der Patient muss in der Lage sein, seine Entscheidung zu kommunizieren und dies zu begründen (siehe auch Ergänzung für unsere Konsensdefinition der Einwilligungsfähigkeit). Ob seine Urteilsfähigkeit ausreichend ist, ist in ihrer ganzen Bandbreite zu betrachten; je tiefgreifender die Konsequenzen der Entscheidung sind, desto höher muss die Urteilsfähigkeit gesichert werden [219].

Eine besonders komplexe Situation liegt vor, wenn der Patient als nichturteilsfähig angesehen wird, aber eine gültige Patientenverfügung vorliegt [220]. Die Entscheidung, die Behandlung zu unterlassen, kann als Beihilfe zum Suizidversuch angesehen werden. Es ist jedoch vertretbar, den Patientenwillen und eine gültige Patientenverfügung zu respektieren. Dies begründet sich dadurch, dass die Urteilsfähigkeit zum Zeitpunkt der Patientenverfügung stärker gewertet wird als zum Zeitpunkt des Selbstmordversuchs [221]. Allerdings gibt es gewisse juristische Voraussetzungen, die die Entscheidung zur Ablehnung der Behandlung außer Kraft setzen können. Diese beinhalten die staatliche Selbstmordprävention und die Notwendigkeit des Schutzes unschuldiger Dritter, wie beispielsweise Kinder oder Feten.

Wenn der behandelnde Arzt sich nicht sicher ist, ob der Patient urteilsfähig oder

die Patientenverfügung rechtmäßig ist, empfiehlt es sich, lebensrettende Maßnahmen einzuleiten sowie ethischen oder rechtlichen Rat einzuholen. Es empfiehlt sich, sich ausreichend Zeit für die Dokumentation zu nehmen, um dabei zusammenhängende Informationen bezüglich des Suizidverhaltens, der Behandlungsentscheidung und des Nachweises etwaiger Unterlagen zu prüfen [217].

Die Hintergründe eines Selbstmordversuchs schnell zu beurteilen, ist schwierig und es wird empfohlen, mit lebenserhaltenden Maßnahmen zu beginnen [222]. Stellvertretende Entscheidungsträger sind möglicherweise nicht in der Lage, die Ansichten des Patienten in dieser Situation zu vertreten oder zu verstehen, insbesondere bei Selbstmordversuchen. Wenn der Patient stabilisiert ist, entspricht die zu erwartende Lebensqualität möglicherweise nicht seinen Wertvorstellungen und seiner Wahl. Die Reaktion auf die klinische Ausgangslage soll nicht dogmatisch verfolgt, sondern an den Einzelfall angepasst werden [223].

Einige Autoren sind der Meinung, dass ein Selbstmordversuch nicht so entscheidend sei, wie der zugrunde liegende (Krankheits-)Prozess, der zu dem Versuch geführt hat. Mit anderen Worten, es kann ethisch vertretbar sein, eine lebenserhaltende Behandlung im Falle eines Selbstmordversuchs zurückzuhalten oder abubrechen, wenn eine schwerwiegende Erkrankung vorliegt [224].

Der ethische Rahmen der Wiederbelebung für Ersthelfer

Frühe Wiederbelebungsmaßnahmen durch Ersthelfer verbessern das Patientenoutcome bei einem prähospitalen Kreislaufstillstand [225–230]. In vielen Ländern wurden Alarmierungssysteme für geschulte Freiwillige und/oder Ersthelfer sowie einer durch Leitstellendisponenten angeleiteten Wiederbelebung durch Laien implementiert.

Diese Systeme spielen eine entscheidende Rolle beim prähospitalen Kreislaufstillstand, wie dies in der Überlebenskette und den ERC-Leitlinien abgebildet ist [231].

In der Rate der Ersthelferreaktionen gibt es deutliche Unterschiede zwi-

schen Ländern, Regionen und sogar in Bezug auf die äußeren Umstände oder Patienteneigenschaften [226, 232–235].

In einem ILCOR-Scoping-Review aus dem Jahr 2020 wurde die Bereitschaft einzelner Personen untersucht, eine Ersthelferanimation durchzuführen [236]. Folgende Faktoren beeinflussen die Ersthelferbereitschaft oder die aktuelle Durchführung von Ersthelfermaßnahmen: emotionale Verfassung, Zustand des Patienten (z. B. Erbrechen), sozioökonomischer Status des Patienten, Geschlecht des Patienten, körperliche Herausforderungen (z. B. Patientenlagerung, Alter des Ersthelfers) und mangelndes Wissen oder Selbstvertrauen [237, 238]. Ersthelfer sind eher bereit, eine Wiederbelebung nur mit Thoraxkompressionen durchzuführen als in Kombination mit einer Beatmung. Einige Autoren führen auch die Angst vor rechtlichen Konsequenzen als potenzielles Hindernis an [239, 240]. Ältere Ersthelfer beginnen seltener mit der Wiederbelebung, wobei die Wahrscheinlichkeit viel höher ist, dass Personen aus ihrem Umfeld einen Kreislaufstillstand erleiden. Wichtige Faktoren sind Vorkenntnisse und Schulungen sowie das Gefühl einer moralischen Verpflichtung zu handeln [241–244].

Es gibt ethische Überlegungen in Bezug auf die vom ILCOR empfohlene Verwendung von Smartphone-Apps oder Textnachrichten, um geschulte Ersthelfer auf prähospitalen Kreislaufstillstände aufmerksam zu machen (starke Empfehlung, niedrige Evidenz) [245]. Regionale Systeme zur Alarmierung von Laien und/oder Ersthelfern weisen viele gemeinsame Merkmale auf und können je nach regionalen Unterschieden variieren [233, 234, 246–265]. Einige dieser Systeme schließen a priori (kleine) Kinder, traumabedingte Kreislaufstillstände, Vergiftungen, Ertrinken und/oder Selbstmord, gefährliche oder schwer erreichbare Orte und/oder Pflegeheime aus. Solche Ausschlusskriterien werden meist nicht weiter erläutert und/oder näher definiert. Die niedrige Sensitivität und Spezifität der aktuellen Dispatcher-Protokolle für das Feststellen eines Kreislaufstillstands führen zu einem hohen Prozentsatz falsch-positi-

ver und falsch-negativer Ergebnisse. Wir betrachten dies als ein Hauptproblem und halten eine bessere Fallauswahl für ausschlaggebend. In bis zu 30% der prähospitalen Kreislaufstillstände beginnt der Rettungsdienst nicht mit der Wiederbelebung. Diese Fälle im Vorfeld herauszufiltern, ist sehr schwierig, könnte jedoch einen späteren ethischen Konflikt zwischen den Ersthelfern und dem ankommenden Rettungsdienst reduzieren.

Weitere wichtige ethische Fragen in Zusammenhang mit der Umsetzung dieser Systeme sind die möglichen psychischen Auswirkungen auf Ersthelfer im Rahmen eines präklinischen Kreislaufstillstands, die potenziellen Unterschiede im Grad der Ausbildung und Kompetenzen von Freiwilligen sowie die möglichen Auswirkungen auf die Privatsphäre des Patienten bei der Behandlung durch einen nichtprofessionellen Ersthelfer. Die meisten Autoren messen dem Versuch, ein Leben zu retten, einen höheren Stellenwert bei als der damit verbundenen möglichen Verletzung der Privatsphäre. Eine Umfrage in Nordamerika ergab, dass die meisten weder gegen die Implementierung eines App-alarmierten Freiwilligensystems in ihrer Gemeinde noch gegen Crowdsourcing-basierte Hilfen Einwände hatten [258].

Eine ILCOR-Übersichtsarbeit zeigte nur wenige Hinweise auf Schäden bei Ersthelfern nach der Durchführung einer Reanimation und/oder der Verwendung eines AED. Im Zusammenhang mit der COVID-19-Pandemie besteht jedoch das Risiko einer Übertragung einer Infektion auf den Ersthelfer. Obwohl bei nicht – oder mit erheblicher Verzögerung – durchgeführter Wiederbelebung die Wahrscheinlichkeit eines guten Outcomes für viele Betroffene deutlich reduziert ist, sollen Ersthelfer versuchen, das Risiko einer Krankheitsübertragung durch Wiederbelebungsmaßnahmen zu minimieren [4, 266]. Das Nutzen-Risiko-Verhältnis hängt dabei von Faktoren, wie beispielsweise der aktuellen regionalen COVID-19-Prävalenz, dem Zustand des Betroffenen (vermutete COVID-19-Infektion), der Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Wiederbelebung, der Verfügbarkeit von Schutzausrüstung sowie

dem vorherigen persönlichen Kontakt zwischen Ersthelfer und Patienten ab.

Reanimationsschulungen sollen Ersthelfer besser auf die umfangreichen logistischen, emotionalen und auch zu erwartenden Herausforderungen einer Wiederbelebung vorbereiten [113, 267, 268]. Dies umfasst auch den Abbau von Selbstzweifeln sowie umfangreiche Kenntnisse der Auswirkungen bzw. Vermeidung bestimmter Maßnahmen und die Aufklärung verschiedener Irrglauben.

Die enorme Bedeutung von Wiederbelebungsmaßnahmen wird sowohl in der populären Presse als auch in speziellen Medienkampagnen angesprochen, hervorgehoben [269]. Erst seit Kurzem wurde öffentlich immer öfter über Indikationen und Grenzen der Wiederbelebung diskutiert [114]. Solche Diskussionen sind für den Ersthelfer schwer zu verstehen, obwohl sie aus Sicht des Patienten und des Gesundheitswesens überaus relevant sind. Die Ethik-Autorengruppe unterstreicht einmal mehr die Wichtigkeit der Ersthelferanimation als Schlüsselglied in der Überlebenskette.

Eine Aufklärungskampagne für die breite Öffentlichkeit, wann und unter welchen Umständen eine Ersthelferanimation sinnvoll ist und wann nicht, kann dabei hilfreich sein [113]. Die Alarmierungsprotokolle der Leitstelle sollen dabei helfen, den Patientenstatus schneller einzuschätzen und zu beurteilen, ob Reanimationsmaßnahmen vorteilhaft sind oder nicht. Eine Reanimation durch Ersthelfer soll niemals als moralische oder rechtliche Verpflichtung angesehen werden.

Die Bereitschaft, mit einer Wiederbelebung zu beginnen, ist für Laien und Ersthelfer eine emotionale Herausforderung und kann großen Einfluss auf das weitere Familien- und Berufsleben haben [262, 270, 271]. Die Rolle des Ersthelfers soll sowohl von der Leitstelle als auch vom Rettungsdienst wertgeschätzt werden [272].

Schließlich befasste sich die ILCOR-EIT-Arbeitsgruppe mit dem prähospitalen Kreislaufstillstand in ressourcenbeschränkten Umgebungen, da viele der Aussagen zur Wiederbelebung in diesen Bereichen bzw. Umgebungen unter

Umständen nicht anwendbar sind [273]. Sie erkannte, dass die Durchführung und Kosteneffizienz der Wiederbelebung bei einem prähospitalen Kreislaufstillstand unter diesen Umständen sehr herausfordernd sein kann. Man könnte argumentieren, dass die Reanimation nur in einem Umfeld ethisch vertretbar ist, in dem die Ressourcen so sind, dass auch andere grundlegende Elemente des Gesundheits- bzw. Rettungsdienstsystems bereits ausreichend entwickelt sind. Die Reanimation soll, wie bei vielen anderen Entscheidungen im Gesundheitswesen, niemals isoliert betrachtet werden, sondern vielmehr als Teil des gesamten Gesundheitssystems in einem Land oder einer Region. Die Rolle und die öffentliche Aufgabe der Wiederbelebung durch Ersthelfer in einem solchen Kontext ist offensichtlich weit weniger klar.

Ausbildung, Kommunikation und Gesundheits- bzw. Rettungsdienstsysteme

Ausbildung von Ersthelfern, Risikogruppen und Familienangehörigen

Ausbildung über das Mitbestimmungsrecht des Patienten. Vorabgespräche zur vorausschauenden Behandlungsplanung, die von ausgebildeten Pflegekräften oder Sozialarbeitern geführt werden, sind mit einer Zunahme des Wissens der Patienten über die Vorausplanung der therapeutischen Maßnahmen und der deutlich höheren Wahrscheinlichkeit eines Dialogs mit dem behandelnden Arzt über dieses Thema sowie der Zustimmung zur DNACPR-Entscheidung verbunden [20, 274–277]. Eine patientenzentrierte vorausschauende Behandlungsplanung erhöht die Übereinstimmung bei der Entscheidungsfindung für die zukünftige medizinische Behandlung zwischen Patienten und ihrem Vertreter, verbessert die Zufriedenheit mit dem Entscheidungsprozess und verringert Entscheidungskonflikte [278]. Eine randomisierte kontrollierte Pilotstudie, die bestimmte kulturelle Faktoren adressiert und dabei auf eine zugeschnittene Behandlung unter Einbeziehung eines zweisprachigen, bikulturellen Patientenvertreters fokussiert,

lässt verbesserte Palliativbehandlungsergebnisse für Minderheitengruppen, die von fortgeschrittenen Erkrankungen betroffen sind, vermuten [279]. Eine kontrollierte, randomisierte Interventionsstudie in den USA, in der Peer-Mentoring von geschulten Patienten untersucht wurde, um anderen Patienten bei der Planung des Lebensendes zu helfen, hatte einen signifikanten Einfluss auf den Abschluss der vorausschauenden Behandlungsplanung; dieser Effekt war unter Afroamerikanern am stärksten ausgeprägt [280].

Ausbildung über Indikationen, Verfahren und Ergebnisse zur Wiederbelebung. Videotools zur Unterstützung von Entscheidungen bei der Wiederbelebung, zu Wahlmöglichkeiten zu Präferenzen zur Reanimation und zu unterschiedlichen Behandlungsstufen sind mit einem höheren Verständnis der Notwendigkeit von Reanimation und von lebensverlängernden Maßnahmen verbunden [5, 27, 281]. Wiederbelebungslernvideos und strukturierte, patientenzentrierte Interviews können bei der Entscheidungsfindung hilfreich sein, mit der erhöhten Wahrscheinlichkeit, auf eine Reanimation zu verzichten und das Wohlbefinden in den Mittelpunkt zu stellen [5, 54, 78, 282, 283].

Ausbildung des Gesundheitspersonals

DNACPR-Verfügung und vorausschauende Behandlungsplanung. Komplexe Maßnahmen, wie die Ausbildung von Mitarbeitern der Gesundheitsberufe, die Aufklärung von Patienten und deren Angehörigen sowie die Einbeziehung spezieller Teams, scheinen letztlich einen größeren Einfluss auf die Wirkung von DNACPR-Diskussionen zu haben. Diese Diskussionen sollen bevorzugt als Teil eines umfassenderen Dialogs wie der vorausschauenden Behandlungsplanung geführt werden [284]. Einige Hintergrundvidenz deutet darauf hin, dass in besorgniserregender Häufigkeit unterschiedliche Interpretationen zur DNACPR-Entscheidung zwischen Ärzten und ihren Patienten auftreten [285]. Es gibt jedoch keine direkten Beweise

dafür, ob – und in welcher Form – Aufklärung dieses Phänomen verändert.

Die Anwesenheit von Familienangehörigen während der Reanimation. Ein Vortrag zur Literatur, die für die Anwesenheit von Angehörigen während der Wiederbelebung spricht, eröffnet die Diskussion über die Familienpräsenz und liefert ein Manuskript, das zur Unterstützung der Familien während der Wiederbelebung verwendet werden und damit die Einstellung von Krankenschwestern und Ärzten zur Anwesenheit von Familienmitgliedern verbessern kann [286–288]. Die Anwesenheit einer geschulten Person kann das Wohlbefinden des Teams bzgl. der Anwesenheit von Angehörigen während der Wiederbelebung weiter erhöhen [205].

Kommunikation

Vorausschauende Behandlungsplanung. Vorabgespräche zur vorausschauenden Behandlungsplanung mit einer darin ausgebildeten Pflegekraft zur strukturierten Pflegeplanung mit Bewohnern eines Pflegeheims und deren Angehörigen sowie einem Team von Ärzten und innerklinischem Pflegefachpersonal, die die medizinischen Vorgaben des Therapieverantwortlichen umsetzen, verbessern den medizinischen Konsens über die Versorgung zwischen Patienten, deren Familienangehörigen und den Mitarbeitern des Gesundheitswesens [46, 274, 276, 289].

Abbruch der Wiederbelebung und Übermittlung schlechter Nachrichten. Rettungsdienstmitarbeiter fühlen sich insbesondere bzgl. ihrer Fähigkeiten verunsichert, eine Todesfeststellung zu überbringen und darüber mit der Familie und den Ersthelfern zu sprechen. Diese Unvorbereitetheit ist mit Vermeidung und Verzweiflung verbunden. Das Rettungsdienstpersonal nutzt räumliche und emotionale Distanzierung als Bewältigungsmechanismen und konzentriert sich auf rationale oder strukturierte Verhaltensweisen der Wiederbelebung, um Interaktionen oder emotionale Konfrontationen mit der Familie und den Ersthelfern zu vermeiden [290].

Patientenergebnisse und ethische Überlegungen

Das Ergebnis eines Kreislaufstillstands kann auf verschiedene Arten definiert werden. Der Reanimationserfolg kann zu mehreren Zeitpunkten, von während des Kreislaufstillstands (z. B. endtidales CO₂) bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus (z. B. Überleben, neurologisches Ergebnis) und darüber hinaus (z. B. Überleben, neurologisches Ergebnis, gesundheitsbezogene Qualität), gemessen werden [291]. Eine erfolgreiche Wiederbelebung kann als Überleben mit akzeptabler Lebensqualität beschrieben werden. Dies bedeutet, dass langfristige Ergebnisse für Patienten und die Gesellschaft von besonderem Interesse sind [292, 292].

Einschätzung der Ergebnisse

Traditionell wurden Ergebnisse nach einem Kreislaufstillstand vom Arzt gemeldet und werden häufig als gut oder schlecht beurteilt [292]. Diese Zweiteilung versucht häufig Patienten in zwei Gruppen zu teilen, nämlich in solche, die funktionell unabhängig, und in solche, die pflegbedürftig bleiben oder tot sind.

Heute wird das Ergebnis nach Kreislaufstillstand multifaktoriell verstanden und kann langfristige Veränderungen in funktionellen, emotionalen, physischen, kognitiven und sozialen Bereichen umfassen, die alle mit der gesundheitsbezogenen Lebensqualität verbunden sind [292]. Um patientenzentrierte Entscheidungen über die Angemessenheit der Wiederbelebung zu treffen, müssen Ärzte und Patienten ein gemeinsames Verständnis dafür haben, wie der Patient selbst ein gutes Ergebnis definiert. Der Blickwinkel des Patienten auf das Ergebnis kann durch Faktoren wie Alter, Religion, gesellschaftliche Werte und persönliche Erfahrungen beeinflusst werden. Dies soll Entscheidungen über Behandlungen wie Wiederbelebung beeinflussen.

Epidemiologische Daten liefern Informationen zum Ergebnis auf Bevölkerungsebene [226, 293, 294]. Das Ergebnis einzelner Personen wird durch patientenbezogene Faktoren wie Alter, Begleiterkrankungen und Ätiologie des Kreislaufstillstands stark beeinflusst. Daher ist

die Vorhersage des Ergebnisses auf persönlicher Patientenebene eine Herausforderung. Die wichtigsten Herausforderungen für Ärzte sind die erfolgreiche Kommunikation der Ungewissheit über das wahrscheinliche Ergebnis eines Kreislaufstillstands und die Sicherstellung, dass ihre persönlichen Wertvorstellungen und Präferenzen den Patienten nicht beeinflussen.

Die individuelle Eigenständigkeit gibt dem Einzelnen das Recht, eine Behandlung abzulehnen, verpflichtet jedoch kein Gesundheitssystem, eine Behandlung anzubieten, die entweder zwecklos oder nicht kosteneffektiv ist. Öffentlich finanzierte Gesundheitssysteme verfügen über begrenzte Ressourcen mit der Erwartungshaltung, dass diese Systeme die finanziellen Förderungen so effektiv wie möglich nutzen. Behandlungen, die dem vordefinierten Kosten-Nutzen-Prinzip nicht entsprechen, werden möglicherweise nicht angeboten. Bisher wurden nur wenige Maßnahmen zur Behandlung des Kreislaufstillstands einer gesundheitsökonomischen Bewertung unterzogen [295–297].

In den vergangenen Jahren zeigte sich die Organspende nach Kreislaufstillstand als wichtiger Faktor [298]. Die Organspende kommt dem allgemeinen Gesundheitssystem und der Gesellschaft als objektive und kostengünstige Behandlung bei Organversagen zugute.

In einigen Fällen ist es ggf. nicht möglich, herauszufinden, wie ein Einzelner ein bestimmtes Ergebnis beurteilt, beispielsweise im Zusammenhang mit kleinen Kindern oder Personen mit schweren kognitiven Funktionsstörungen. Unter diesen Umständen sollen Ärzte Behandlungsentscheidungen mit den Betroffenen besprechen, die dem Einzelnen nahestehen. Die Gesellschaft legt oft besonderen Wert darauf, wenn es um das Leben eines Kindes geht. Ärzte müssen darauf achten, dass jede Entscheidung im besten Interesse des Einzelnen liegt. In seltenen Fällen, in denen das behandelnde Team und andere Beteiligte sich nicht über ihre Ansichten einig sind, muss möglicherweise die Entscheidungsfindung auf das Rechtssystem erweitert werden.

Variabilität der Ergebnisse

Die Variabilität des Ergebnisses nach Reanimation wurde sowohl beim innerklinischen als auch beim prähospitalen Kreislaufstillstand beschrieben [226, 293, 294, 299, 300]. Diese Variabilität kann zwischen Orten, Leitstellensystemen, Krankenhäusern, Regionen und Ländern bestehen. Variationen können Unterschiede auf mehreren Ebenen widerspiegeln, einschließlich Datenerhebungsmethoden, Fallmix und Behandlung [301, 302]. Aus ethischer Sicht tritt das Hauptproblem auf, wenn die Variabilität durch unterschiedliche Behandlungs- oder Pflegeprozesse verursacht wird.

Beobachtungsdaten deuten darauf hin, dass Frauen und Personen aus sozial benachteiligten und ethnischen Minderheiten weniger wahrscheinlich Reanimation durch Ersthelfer und wichtige Maßnahmen nach der Feststellung des Kreislaufstillstands erhalten [303, 304]. Umfragedaten zeigen, dass sich sowohl die stationären Pflegesysteme als auch die langfristige Nachsorge und Rehabilitation zwischen den Krankenhäusern bzw. stationären Einrichtungen deutlich unterscheiden [299, 305–307].

Eine mögliche Strategie zur Verbesserung der Patientenergebnisse ist die Zusammenlegung der Krankenhausleistungen unter einer Reihe von Bedingungen, einschließlich der Behandlung des Kreislaufstillstands [308, 309]. Dies ermöglicht die Entwicklung von klinischem Fachwissen und erleichtert die Bereitstellung spezialisierter Interventionen wie primärer perkutaner Koronarintervention und extrakorporaler Wiederbelebung. Es besteht dabei die Sorge, dass die erwähnte Zusammenlegung Personen benachteiligen könnte, die in ländlichen Gebieten leben.

Forschungs- und Reanimationsregister

Utstein-Kriterien beschreiben die Ergebnisse, die von Registern gesammelt werden sollen. Als Hauptergebnisse werden die Rückkehr des spontanen Kreislaufs, das Überleben bei Entlassung aus dem Krankenhaus bzw. 30 Tage und das neurologische Ergebnis bei Entlassung aus dem Krankenhaus identifiziert [310,

311]. Die Einbeziehung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität und des 12-Monats-Überlebens als ergänzende Parameter spiegeln das Gleichgewicht zwischen der Bedeutung dieser Ergebnisse und den Herausforderungen der Datenerhebung, wie dem damit verbundenen Aufwand, wider.

Im Rahmen der Forschung können Unterschiede in der Art und Weise, wie Ergebnisse von Studien gemessen oder gemeldet werden, einen Vergleich der Ergebnisse zwischen Studien limitieren und die Möglichkeiten für eine Metaanalyse verhindern [312]. Eine systematische Überprüfung der Literatur zum Thema Kreislaufstillstand ergab eine Variabilität bei den gemeldeten Ergebnissen, Unterschiede bei den Ergebnisdefinitionen sowie Unterschiede beim Zeitpunkt und der Methode zur Erfassung der Ergebnisse [291]. Die Perspektive des Patienten auf das Ergebnis wurde nur selten berücksichtigt.

Um dieses Thema zu behandeln, entwickelte das ILCOR ein Cardiac Arrest Core Outcome Set (COSCA) in einem Prozess, an dem Patienten, deren Partner, Ärzte und Forscher beteiligt waren [313]. Kernergebnisse sind solche, die in allen klinischen Studien gemeldet werden sollen, um eine konsistente Ergebnisberichterstattung zu gewährleisten [314, 315]. COSCA beschreibt drei Ergebnisse: Überleben bei Entlassung bzw. 30 Tage Überleben; modifizierter Rankin-Score bei Entlassung bzw. nach 30 Tagen; und gesundheitsbezogene Lebensqualität nach 180 Tagen bzw. einem Jahr. COSCA unterstützt die Erfassung detaillierter Maßnahmen zu spezifischen Problemen, die bei Überlebenden nach Kreislaufstillstand auftreten, wie z. B. Müdigkeit, Angstzuständen und Teilnahme am sozialen Leben. Diese Daten können unser Wissen über das Überleben des Kreislaufstillstands sowie die Unterstützung und Rehabilitation von Patienten in der postakuten Phase verbessern.

Eine wichtige Herausforderung sowohl für Reanimationsregister als auch für klinische Studien besteht darin, ein hohes Maß an Datenvollständigkeit für Ergebnisse sicherzustellen, die von der Einbeziehung von Patienten oder de-

ren Stellvertreter abhängen, wie z. B. die gesundheitsbezogene Lebensqualität. Die Teilnehmerquoten variieren je nach Studie erheblich [296, 316, 317]. Ein Hauptkritikpunkt ist, dass sich die an den Studien teilnehmenden Personen von denen, die nicht teilnehmen, deutlich unterscheiden [318]. In der Kreislaufstillstandsforschung antworten Überlebende mit schlechtem Ergebnis weniger wahrscheinlich, was zu Verzerrungen führt [319–321]. Die erweiterten Standard Protocol Items: Recommendations for Interventional Trials (SPIRIT)-Patient-Reported Outcome (PRO)-Richtlinien enthalten Informationen über die Einbeziehung der vom Patienten berichteten Ergebnisse in klinische Studien [318].

Ethik und Forschung in der Notfallmedizin

Selbstbestimmungsrecht vs. wissenschaftlicher Fortschritt

Die Prognose nach Kreislaufstillstand bleibt schlecht [322–324]. Daher besteht Bedarf an interventioneller, multizentrischer, randomisierter, kontrollierter klinischer Forschung, die darauf abzielt, die Auswirkungen neuer und potenziell nützlicher Behandlungen zuverlässig zu bewerten oder empirische Routinebehandlungen zu validieren, die eine unklare Wirksamkeit vorweisen [7, 72, 325, 326]. Das beste Gleichgewicht zwischen der Achtung der Autonomie (d. h. Recht auf Selbstbestimmung) und dem Wohlbefinden (d. h. Verbesserung der Patientenergebnisse) oder sogar Nichtmissbräuchlichkeit (d. h. Vermeidung einer fragwürdigen Behandlung des Patienten) wurde als eine der größten Herausforderungen bei der Durchführung von Forschung zum Thema Notfallmedizin angesehen [7, 72, 325, 327].

Die neue Verordnung Nr. 536/2014 über klinische Studien der Europäischen Union erlaubt die Verwendung einer aufgeschobenen Einwilligung in Arzneimittelstudien unter klar festgelegten Bedingungen. Getestete Interventionen sollen im Vergleich zur Standardbehandlung für den Zustand des Probanden mit einem minimalen Risiko bzw. einer minimalen Belastung für den Einzelnen betrachtet werden [325]. Somit ermög-

licht die neue Verordnung potenziell vorteilhafte, risikoarme, multizentrische und multinationale Forschung zum Thema Kreislaufstillstand [7, 325, 328]. Dennoch sind noch regulatorische Verbesserungen erforderlich, da die neue Verordnung keine klinischen Studien zur Testung von technischen Geräten betrifft [325]. Insbesondere die gerätebezogene Notfallforschung kann erhebliche Vorteile bringen, da sie zu Verbesserungen der klinischen Praxis und der Patientenergebnisse führt [329].

Eine verzögerte Einwilligung (d. h. Einholen der Einwilligung eines Vertreters und/oder des Patienten so bald wie möglich nach dem Einschluss in die Studie) kann erforderlich sein, da das therapeutische Fenster zu kurz ist, um eine gültige Einwilligung vor dem Einschluss zu erhalten [72, 325, 330–332]. Dies wird als ethisch akzeptable Alternative für Forschung mit geringem Risiko angesehen, die sowohl die Möglichkeit eines Forschungsnutzens als auch die Achtung der Autonomie von Patient und Familie voraussetzt [333, 334]. Im Gegensatz dazu kann eine strenge Forderung der Einwilligung vor dem Einschluss den Beginn einer experimentellen Intervention verzögern und dadurch den potenziellen Nutzen für den Patienten beeinflussen [335]. Ein weiteres, ethisch vertretbares und rechtlich gestütztes Zustimmungsmo- dell umfasst die Ausnahme von der Einwilligung nach Aufklärung („exception to informed consent“ [EIC]) mit vorheriger Aufklärung der Bevölkerung (und der Möglichkeit einer potenziellen Widerspruchslösung) [336–343]. Das EIC-Modell bezieht sich auch auf die Einholung der Zustimmung nach dem Studieneinschluss [325].

Sowohl die aufgeschobene Einwilligung als auch das EIC-Modell sind durch das Recht des Patienten und/oder der nächsten Angehörigen auf einen späteren Widerruf der Einwilligung eingeschränkt, da dies zu einem wissenschaftlichen Bias der Ergebnisse führen kann, indem die Daten von Patienten mit einem komplizierteren klinischen Verlauf ausgeschlossen werden [72]. Dies könnte teilweise durch gesetzliche Bestimmungen geregelt werden, die den Ausschluss von Patientendaten

verhindern sollen, die bis zum Zeitpunkt des Widerrufs der Einwilligung dokumentiert wurden [72].

In einer kürzlich durchgeführten klinischen Studie zum Einsatz von Adrenalin im prähospitalen Kreislaufstillstand wurden eine Kombination aus einem Modell der verzögerten Einwilligung mit informativen Pressemitteilungen vor und während des gesamten Studienzeitraums, einer ständig aktualisierten Studienwebseite während des Studienzeitraums und einer elektronisch unterstützten Widerspruchsregelung (die erforderlich ist), ein vorab festgelegter und realistischer Ansatz zur Information der Patienten und zur Einholung ihrer Zustimmung nach Wiedererlangung ihrer Entscheidungsfähigkeit, eine vorab festgelegte und klare Definition des persönlichen und beruflichen gesetzlichen Vertreters für Patienten ohne Einwilligungsfähigkeit, eine vorab festgelegte Methode der Vorgehensweise und Kommunikation mit dem gesetzlichen Vertreter, ein klar festgelegtes Verfahren für die Verweigerung oder den Widerruf der Einwilligung sowie ein vorab festgelegter Ansatz für die passive Bereitstellung von Studieninformationen (z. B. über Websites oder Newsletter) für die Familienangehörigen von Patienten, die verstorben sind, bevor diese kontaktiert werden können, verwendet [326]. Zukünftige Forschung soll die jeweiligen potenziellen Vorteile (d. h. weniger emotionalen Stress) und Schäden (d. h. begrenzte oder keine Kenntnis der Einzelheiten zur Teilnahme an der Studie) bei passiver und aktiver Bereitstellung von Informationen vergleichen (d. h. mehr Stress, aber auch mehr Wissen über die Teilnahme des Patienten an der Studie).

Während der Entwurfsphase dieser pragmatischen Adrenalinstudie wurden die Hauptergebnisse in Zusammenarbeit mit Patienten und öffentlichen Vertretern festgelegt [326]. Eine Einbeziehung aller wichtigen Interessengruppen (einschließlich Patienten und Vertreter der Öffentlichkeit) in die schrittweise Entwicklung der wichtigsten Ergebnissätze während des Studiendesigns sowie in die Umsetzung und Verhaltensregeln der Forschung und Verbreitung von Ergebnissen ist eine aufkommende und vielversprechende Vorgehensweise. Die-

se Praxis wurde bereits in mehreren Forschungsbereichen angewendet und kann patientenorientierte Initiativen wie die Unterstützung und Beteiligung von Interessengruppen, Patientenberatungsgremien und Fokusgruppen, Interviews mit Studienteilnehmern und Mitarbeitern, Fragebögen sowie Delphi-Verfahren bzw. -Konsensusprozesse und Konsensusitzungen umfassen [344–352].

Das European-Innovation-Council (EIC)-Modell basiert auf der Verordnung 21 CFR 50.24 der US-amerikanischen Food and Drug Administration von 1996 [353]. Obwohl diese Verordnung klar definierte Vorgaben für die Durchführung von Notfallforschung vorzugeben scheint, haben ihr mehrere Autoren bereits vorab erhebliche Verfahrensmängel zugeschrieben [354, 355]. Wenn z. B. ein Familienmitglied beim Notfall anwesend ist, ist es dem Forscher u. U. nicht möglich, diesem das Forschungsprotokoll oder sogar die Einwilligungserklärung zu erläutern [356]. Eine Umfrage unter 530 Befragten aus einer an EIC-Forschungsprojekten teilnehmenden Studiengruppe ergab außerdem, dass nur 5 % der Befragten, trotz der Konsultation der Gruppe vor der Studie, Kenntnis von den Forschungsprotokollen hatten. Dies wirft Zweifel an der Durchführbarkeit einer angemessenen Verbreitung von Forschungsinformationen unter den forschungsbeteiligten Studiengruppen auf [357].

In den USA wurde eine besorgniserregende Reduktion von Studien zum Kreislaufstillstand um 15 % pro Jahr zwischen 1992 und 2002 dokumentiert [358]. Ähnliche Bedenken wurden hinsichtlich einer starken Reduktion von 30 bis 50 % in europäischen Studien geäußert, die bis Ende 2005 zur finanziellen Unterstützung oder zur Genehmigung durch eine Ethikkommission eingereicht wurden [359–361]. Zu dieser Zeit trat die Richtlinie 2001/20/EG der Europäischen Union in Kraft, deren strenge Auslegung die vorausgehende Zustimmung zur Aufnahme in die Studie für alle Arten klinischer Arzneimittelstudien forderte [72, 362].

Die oben zitierte Literatur hebt die inhärente Widersprüchlichkeit hervor, wenn z. B. die Autonomie von Patienten

respektiert werden soll, die jedoch in der Situation, in der sie in die klinische Notfallforschungsstudie aufgenommen werden sollen, selbst nicht entscheidungsfähig sind; wobei die Studie darauf abzielt, ihren Reanimationserfolg zu verbessern. Dieses anhaltende ethische Dilemma könnte teilweise durch eine vorausschauende Behandlungsplanung behoben werden, die sich speziell auf die Teilnahme an der Notfallforschung bezieht. Solche Behandlungspläne sollen auch für das medizinische Notfallpersonal und Forschende, selbst beim präklinischen Kreislaufstillstand, unmittelbar zugänglich sein. In vielen Situationen kann sich dies aber immer noch als EDV ressourcenintensiv oder sogar als unmöglich erweisen [363].

Große nationale und internationale Register ermöglichen die Erfassung allgemeiner Bevölkerungsdaten zur Inzidenz, vermuteten Ursache und zum Reanimationserfolg eines Kreislaufstillstands. Informationen darüber, ob der Kollaps des Patienten beobachtet wurde oder nicht, zum Ort des Kreislaufstillstands, zu bestimmten Aspekten der Organisation der Notfallversorgung (z. B. Verfügbarkeit von Leitstellen-angeleiteter Ersthelferanimation), zu Patienteneigenschaften (z. B. Alter, Geschlecht, Rasse und Komorbiditäten), zu Krankenhauseigenschaften (z. B. Bettenanzahl und Lehrstatus), zu Intervallen (z. B. Zeit vom Kollaps bis zum ersten Schock) und zu durchgeführten Maßnahmen können ebenfalls erfasst werden [364, 365]. Registerdaten können analysiert werden, um 1) regionale Unterschiede, zeitliche Trends und Vorhersagen für Patientenergebnisse zu untersuchen; 2) paarweise zugeordnete Patientengruppen mit unterschiedlichen Behandlungen zu vergleichen und 3) Einblicke in die Umsetzung veröffentlichter Evidenz und Leitlinien in der klinischen Praxis zu gewinnen [324, 364, 366–369]. Darüber hinaus wurden DNA-Biobanken für die DNA-Sequenzierung im Rahmen der Genomforschung beim plötzlichen Kreislaufstillstand eingerichtet [370].

Große Beobachtungsregister- bzw. Biobankdaten entstammen aus vielen Quellen. Solche Daten müssen möglicherweise verknüpft werden, um Verbin-

dungen zwischen potenziellen Prädiktorvariablen und Patientenergebnissen zu erkennen [371]. Die daraus resultierende Erstellung hochwertiger Evidenz für die personalisierte Prävention und Behandlung kann zu verbesserten Ergebnissen und zur Senkung der Gesundheitskosten beitragen [372]. Diese nutzbringenden Prozesse sind jedoch nicht frei von ethischen Fragestellungen in Zusammenhang mit dem Datenschutz bzw. der Privatsphäre (d. h. dem Risiko einer nachträglichen Patientenidentifizierung), der genetischen Diskriminierung und der moralischen Verpflichtung zur Offenlegung von Befunden gegenüber Hochrisikopatienten, die es ablehnen, ihre genetischen Testergebnisse zu kennen. Auch bestehen Herausforderungen hinsichtlich der Qualität der Beobachtungsdaten und potenziell durch einen Bias entstandener Ergebnisse, die zur Erstellung falscher Risikoprofile führen können, sowie bei der Einholung der Zustimmung zur Datennutzung in einer Notfallforschungssituation und der Anwendung geeigneter Datenschutzmaßnahmen [370, 373–382].

Die derzeitige Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) 2016/680 der Europäischen Union schreibt vor, dass für die wissenschaftliche Verarbeitung von Daten einer natürlichen Person spezifische angemessene Schutzmaßnahmen (z. B. sichere Speicherung und Verschlüsselung von Daten, Zugriffsprotokollierung, Dateneinschluss usw.) gelten müssen. Die Datenschutzbeauftragten müssen Aufzeichnungen über die Arbeitsabläufe führen. Eine Datenschutz-Folgenabschätzung kann erforderlich sein, um die Risiken in Bezug auf die Persönlichkeitsrechte zu ermitteln und zu bestätigen. Ein bestellter Datenschutzbeauftragter muss die Einhaltung der DSGVO von Forschungseinrichtungen überwachen [370].

Die DSGVO betrifft keine anonymen Daten und Daten von Verstorbenen. Für die Einwilligung zur Einbeziehung personenbezogener Patientendaten in die Forschung gibt es auch strengere Bedingungen. Eine strikte Forderung nach einer prospektiven oder vorab erfassten Einwilligungserklärung würde insbesondere die Erfassung von Daten

der meisten Patienten mit plötzlichem Kreislaufstillstand ausschließen. Dies würde einen Einwilligungsbias, eine Datenschieflage und eine beeinträchtigte Reliabilität der Forschungsergebnisse verursachen, mit einem daraus folgenden Nachteil für die Gesellschaft. Darüber hinaus kann der Ausschluss von rechtsunfähigen und rechtlich vertretenen Patienten von der Datenerfassung möglicherweise gegen deren Präferenz verstoßen, dem Gemeinwohl zu dienen [370]. Für notfallmedizinische Beobachtungsstudien empfehlen wir daher, dass die lokalen bzw. regionalen Aufsichtsbehörden eine aufgeschobene und umfassende Einwilligung für das gesamte Forschungsthema zulassen und gleichzeitig die Umsetzung der angestrebten Datenschutzmaßnahmen sicherstellen, um Datenverletzungen und eine nachträgliche Patientenidentifizierung zu verhindern [370, 383–385]. Schließlich ist es in Bezug auf Beobachtungs- und Interventionsstudien manchmal nicht möglich, auch nur eine aufgeschobene Einwilligung zu erhalten, z. B. wenn der Patient stirbt und kein Entscheidungsbevollmächtigter gefunden werden kann oder wenn zwei Entscheidungsbevollmächtigte mit gleichem rechtlichem Status unterschiedlicher Meinung sind. In solchen Fällen empfehlen wir, die Verwendung der gesammelten Daten bis zum Zeitpunkt der Bestätigung der Unmöglichkeit, die Zustimmung einzuholen, zuzulassen.

Gleiche Verteilung von Nutzen und Risiken der Forschung

Wenn bestimmte Gemeinschaften oder gesellschaftliche Gruppen das Risiko forschungsbedingter unerwünschter Ereignisse tragen, sollen sie auch die Möglichkeit haben, Vorteile aus den Forschungsergebnissen zu ziehen [72]. Die Verwendung relevanter wissenschaftlicher Erkenntnisse soll sich auch nicht auf andere ausgewählte Bevölkerungsgruppen beschränken, die selbst nicht an den Forschungsvorhaben teilnehmen [72].

Zugang zu bestmöglicher Versorgung und Achtung der Patienten- bzw. Familienwürde

Die Aufnahme in ein Forschungsvorhaben soll keinesfalls eine Auswirkung auf die Qualität oder Intensität der Versorgung haben. Beispielsweise soll die Erlangung einer aufgeschobenen Ersatzeinwilligung für die fortlaufende Teilnahme eines bestimmten Patienten an einer Kreislaufstillstandsstudie zur Bewertung der therapeutischen Hypothermie nicht zu einer bevorzugten Aufnahme dieses Patienten auf der Intensivstation gegenüber einem anderen Patienten führen, dessen Bevollmächtigter die Einwilligung verweigert hat [72].

Die Forscher sollen auch sicherstellen, dass die Würde und die Privatsphäre des Forschungsteilnehmers und seiner Familie respektiert werden. Zum Beispiel sollen Antragsteller die Studienteilnehmer einer Kreislaufstillstandsstudie eher als „Patienten nach Kreislaufstillstand“ bezeichnen, und nicht als „Patienten mit Kreislaufstillstand“ oder als „Kreislaufstillstände“ [72].

Themen zum Studiendesign sowie zur Transparenz des Studienablaufs und der Ergebnispräsentation

Kürzlich aufgekommene ethische Themenbereiche, die hauptsächlich die kommerzielle Forschung betreffen, haben die Forderung für die vorausgehende Registrierung von Studienprotokollen [72, 386], für die Berichterstattung zu allen Protokollen sowie zu den Änderungen des Studienablaufs (z. B. eines zeitlichen Studienaufschubs) während der Studie ausgelöst, ebenso wie für die Veröffentlichung der wichtigsten Ergebnisse im Studienregister innerhalb von 12 Monaten nach Studienabschluss sowie für die Veröffentlichung in einem „peer-reviewed journal“ nach weiteren 12 Monaten [72, 387]. Zum Zeitpunkt der Einreichung des Manuskripts in einem „peer-reviewed journal“ sind normalerweise alle Autoren verpflichtet, über die Rolle des Sponsors sowie über ihre eigenen Beiträge zur Studie zu berichten und die Einreichung zu genehmigen [72]. Darüber hinaus können Richtlinien für den Datenaustausch zur Förderung der For-

schungstransparenz eingeführt werden [72, 388].

Ein weitere Sorge betrifft die im Wesentlichen unverhältnismäßig hohe Finanzierung, die die kommerzielle Forschung zur Bewertung der Wirksamkeit von teuren, patentgeschützten Arzneimitteln oder Geräten begünstigt, gegenüber der zweifellos notwendigen, aber nicht kommerziellen, akademischen Wiederbelebungsforschung zu patentungeschützten, kostengünstigen und weit verbreiteten Arzneimitteln mit potenziell ungewisser Wirksamkeit wie z. B. zu Adrenalin oder Antiarrhythmika [72, 326, 389, 390]. Dies könnte teilweise die Tatsache erklären, dass die BLS- bzw. ALS-Leitlinien auf 35- bis 53-fach weniger RCT/10.000 Todesfälle/Jahr basieren als die Leitlinien für akute kardiovaskuläre Ereignisse und Herzinsuffizienz [72, 389]. Öffentliche Unterstützungen oder solche von Non-profit-Organisationen oder sogar gemeinsam getragene öffentliche und private bzw. industrielle Förderungen für die Reanimationsforschung müssen daher erhöht werden [72, 391]. Darüber hinaus soll diese Finanzierung fair und gleichwertig auf Studien zu innerklinischen als auch zu präklinischen Maßnahmen verteilt werden, vorzugsweise auch entsprechend ihrer erwarteten Auswirkung/-en auf die Reanimationserfolge [392].

Notfallforschung und die COVID-19-Pandemie

Starke Steigerungen von COVID-19-Fällen können zu Störungen in einem breiten Spektrum der Tätigkeitsfelder des Gesellschafts- und Gesundheitssystems führen [1, 393–395]. Dementsprechend können Prozesse und Verfahren, die sich hauptsächlich auf interventionelle Forschung beziehen, behindert oder gestoppt werden. Die Notwendigkeit einer physischen Distanzierung kann dazu führen, dass persönliche Treffen bezüglich des Studiendesigns (siehe auch oben), der Genehmigung des Studienprotokolls und der Bewertung des Fortschritts der Studiendurchführung durch Prüfer und Datenüberwachungsausschüsse abgesagt werden. Dennoch können physische Besprechungen zu-

mindest teilweise digital durchgeführt werden.

Das Anziehen der persönlichen Schutzausrüstung kann die Einleitung der Wiederbelebung verzögern und sich auf den Reanimationserfolg auswirken [393, 394, 396]; dies kann den gemessenen Effekt gleichzeitiger oder nachfolgender, forschungsorientierter Wiederbelebnungsmaßnahmen verändern, wie z. B. des Einsatzes neuer medikamentöser Therapien oder des Temperatur- bzw. Beatmungsmanagements während und/oder nach Wiederbelebung. Beim prähospitalen Kreislaufstillstand kann eine erhöhte Anzahl von Notrufen im Zusammenhang mit einem am Limit arbeitenden Gesundheitssystem die Eintreffzeiten von Rettungsdiensten verlängern, während das potenzielle Risiko einer Ansteckung mit der Krankheit während der Durchführung von Thoraxkompressionen die Rate von Ersthelferreanimationen verringern kann [4, 397]. Auch hier können beide letzteren Faktoren die Reanimationsergebnisse und letztendlich die Ergebnisse einer laufenden Notfallforschung beeinflussen. Die Angst vor einer Infektion und/oder einer übermäßigen Arbeitsbelastung kann Mitarbeiter der Gesundheitsberufe davon abhalten, an Forschungsteams teilzunehmen oder ein Forschungsprojekt zu initiieren und zu leiten [97, 398–400]. Schließlich kann eine Erhöhung der DNACPR-Entscheidungen und insbesondere die Verwendung pauschalisierender Reanimationsausschlusskriterien wie Alter [95, 96, 393, 398, 401] einen Selektions-Bias bewirken und die allgemeine Übertragbarkeit der Forschungsergebnisse sowie ihre Anwendbarkeit auf normale Bedingungen erschweren. Solche Herausforderungen können einzig durch wirksame staatliche Maßnahmen zur Begrenzung der Verbreitung von Viren und zur Verhinderung einer Überlastung des Gesundheitssystems bewältigt werden.

Zukünftige Strategien

Die wissenschaftliche Evidenz zur Unterstützung Autonomie-wahrender Maßnahmen weist auf verschiedene Einschränkungen hin, wie z. B. auf die

Vielfalt bzw. Variabilität bei der Definition von Schlüsselbegriffen (siehe auch **Tab. 1, 2 und 3** und Online-Beilage), auf bewertete Maßnahmenart bzw. -design, auf die geografische Verteilung von Studien und Merkmale der teilnehmenden Bevölkerungsgruppen (z. B. Art der lebensbeschränkenden Krankheit, Religion bzw. Religiosität, ethnische Zugehörigkeit) und deren spezifizierter Reanimationsergebnisse und Methoden ihrer Bestimmung sowie auf die Zuverlässigkeit der gemeldeten Ergebnisse (weitere Einzelheiten im Supplement).

Diese Schwächen haben entweder die Durchführung von Metaanalysen ausgeschlossen oder die Heterogenität der gemeldeten Metaanalyseergebnisse erhöht. Dementsprechend haben Autoren systematischer Reviews die Sicherheit vorhandener Evidenz sehr häufig als gering bis sehr gering eingestuft [17–20, 37, 47, 48, 52, 53, 80].

Infolgedessen bestehen wissenschaftliche Lücken hinsichtlich der tatsächlichen Auswirkungen von Patientenverfügungen, vorausschauender Behandlungsplanung und gemeinsamer Entscheidungsfindung auf die Patientenergebnisse. Diese Lücken reichen von Unsicherheiten über die Effektschätzungen von Metaanalysen (bei Vorhandensein einschlägiger Literatur) bis zu sehr begrenzten Daten aus nicht randomisierten Studien und/oder sogar dem Fehlen relevanter Studien (z. B. im Falle der Gesundheitssystem-abhängigen Lebensqualität nach einem Kreislaufstillstand; siehe auch Online-Beilage).

Daher sind neue, qualitativ hochwertige und vorzugsweise multinationale RCT erforderlich, die auf klaren und breiten konsensusbasierten Definitionen von Maßnahmen und Ergebnissen beruhen. Beobachtungs-Big-Data, die möglicherweise mit der Stärke der RCT-Daten übereinstimmen [402, 403], und qualitative Untersuchungen zur Ermittlung der wichtigsten Probleme, die angegangen werden müssen, sind ebenfalls erforderlich [37, 38, 68, 79, 91, 404]. Weitere Studien sind erforderlich, um die Wirksamkeit der interprofessionellen gemeinsamen Entscheidungsfindung festzustellen, die kürzlich von Experten für wichtige klinische Entscheidungen

empfohlen wurde. Die interprofessionelle gemeinsame Entscheidungsfindung berücksichtigt die verfügbare Evidenz, das Fachwissen der beteiligten Ärzte sowie die Werteziele und -präferenzen der Patienten [405].

Trotz der Einschränkungen der derzeit verfügbaren, substanziellen, aber immer noch heterogenen Evidenz deutet das Vorhandensein positiver oder neutraler RCT auf strukturierte Kommunikationsinstrumente, die den Abschluss von Leitlinien und Plänen für Patientenverfügungen erleichtern sollen, auf einen „Klasseneffekt“ und eine erhöhte Wahrscheinlichkeit von Nutzen im Vergleich zur üblichen Betreuung hin [5, 17].

Strukturierte, komplexe und vielfältige Maßnahmen im Kontext der vorausschauenden Behandlungsplanung und der gemeinsamen Entscheidungsfindung können eine unverhältnismäßige und nichtgewollte Palliativversorgung wirkungsvoll verhindern und damit den unnötigen Einsatz medizinischer Ressourcen vermeiden [5, 17, 53, 80, 363, 406]. Zukünftige relevante Forschung soll sich primär an wissenschaftlicher Evidenz orientieren.

Potenziell erfolgreiche organisatorische Maßnahmen umfassen: 1) strukturelle Bildungsinitiativen der Öffentlichkeit z. B. Informationsvideos, Berichterstattung in den Medien und Workshops zur Beteiligung der Patienten an der Öffentlichkeit; 2) systematische Ausbildung von Mitarbeitern der Gesundheitsberufe in Ethik- und Kommunikationsfähigkeiten [363]; 3) Infrastrukturinitiativen, die es dem Rettungsdienst ermöglichen, sofort auf die aufgezeichneten Wünsche des Patienten zuzugreifen und diese zu erfüllen z. B. Einrichtung elektronischer Register bzw. Gesundheitsakten und entsprechender gesetzlicher Bestimmungen [363, 406]; 4) Beteiligung der Öffentlichkeit zur Gewährleistung der Klarheit und Akzeptanz elektronischer Dokumente, die für die Aufzeichnung von Behandlungsoptionen verwendet werden; 5) sofortige Verfügbarkeit von angemessenen Palliativversorgungen auf Anfrage des Patienten bzw. der Familie – dies gilt auch für die Palliativversorgung bei Kindern [407] und 6) kontinuierliche Überwachung der Behandlungsqualität

zur Unterstützung relevanter Verbesserungsbemühungen bzw. -initiativen.

Während einer Pandemie wie COVID-19 soll das Engagement von Patienten und Familien in der vorausschauenden Behandlungsplanung und gemeinsamen Entscheidungsfindung im Rahmen von klinischen Fernüberwachungs- und Pflegemodellen (ClinicalTrials.gov NCT04425720) weiterhin möglich sein.

Die Ethik-Autorengruppe betont, wie wichtig eine gründliche gesellschaftliche Konsultation und Debatte ist, um einen kontextspezifischen ethischen Rahmen für viele der komplexen Wiederbelebungsentscheidungen wie die Verwendung von extrakorporaler Wiederbelebung oder unkontrollierter Organspende nach dem Kreislauftod bereitzustellen.

Gesundheitssysteme sollen weiterhin die Leistung ihrer Entscheidungsfindung in Hinblick auf das Nichteinleiten oder den Abbruch der Wiederbelebung evaluieren, einschließlich der möglichen Anwendung spezifischer ToR-Regeln, des Umsetzungsgrads von Patientenverfügungen und der Anzahl der Fälle von erweiterter Wiederbelebung. Mit fortschreitender Technologie werden sich wahrscheinlich auch diese Konzepte weiterentwickeln.

Gesundheitssysteme sollen versuchen, den Ort und den Aufgabenbereich von Ersthelfern und First Respondern sowie die ethischen Herausforderungen in Zusammenhang mit der Ersthelferanimation besser zu definieren, insbesondere in Hinblick auf das Gleichgewicht zwischen dem Nutzen für den Betroffenen und dem Schaden für den Helfer.

Es besteht die Notwendigkeit, die Reanimationserfolge zu messen und zu verfolgen, die sowohl für die Patienten im Allgemeinen als auch für den spezifischen behandelten Patienten von Bedeutung sind.

Zukünftig soll eine qualitativ hochwertige Forschung die optimale Aufklärungsmethode für Mitarbeiter der Gesundheitsberufe in Bezug auf standardisierte Patientenergebnissätze ermitteln und auch deren Auswirkungen auf das Verständnis der Mitarbeiter bewerten.

Gesundheits- und Rettungsdienstsysteme sollen Ausbildungsmaßnahmen in Betracht ziehen, um das Konzept der Familienpräsenz während der Wiederbelebung einzuführen. Zukünftige Forschungsprojekte sollen die Identifikation des bestmöglich geeigneten medizinischen Personals ins Auge fassen, welches in der Lage ist, die Angehörigen durch die Wiederbelebung zu begleiten, eine angenehme Atmosphäre zu erzeugen, die familiäre Not zu erkennen und an Nachbesprechungen nach der Wiederbelebung teilzunehmen.

Weitere Forschungsarbeiten sind erforderlich, um herauszufinden, wie das Rettungsdienstpersonal am besten auf die Herausforderungen der Reanimationsentscheidung und auf den Tod von Patienten vorbereitet und unterstützt werden kann, wobei die spezifischen, kontextbezogenen Anforderungen des präklinischen Umfelds berücksichtigt werden müssen.

Wir empfehlen die größtmögliche bzw. multinationale Festlegung harmonisierter Vorschriften für die Notfallforschung, um interventionelle Arzneimittel- und Geräteversuche sowie Beobachtungsstudien zu fördern und gleichzeitig die Autonomie der Teilnehmer und den Schutz bzw. die Integrität personenbezogener Daten zu gewährleisten.

Schlussfolgerungen

Die Ethik-Autorengruppe hat eine Reihe einfacher und klarer Empfehlungen abgegeben, die durch eine Fülle systematischer Reviewarbeiten, aktueller RCT und nichtrandomisierter Studien gestützt werden. Trotz der allgemein geringen Gewissheit über die Präzision der Auswirkung mehrerer ausgewerteter Metaanalysen zeigen die Ergebnisse zum Reanimationserfolg bei Patienten eindeutig in Richtung zur Verwendung von Maßnahmen wie vorausschauender Behandlungsplanung, gemeinsamer Entscheidungsfindung und ToR-Regeln. Die Autorengruppe erstellte außerdem drei narrative Übersichtsarbeiten, um die vorhandenen Schlüsselergebnisse, bzw. Kenntnisse, und Themen in Bezug auf Ausbildung, die Organisation

des Gesundheitssystems, auf Patientenergebnisse und auf die Ethik der Notfallforschung zusammenzufassen. Schließlich hat die Autorengruppe eine Reihe von Konsensdefinitionen für Schlüsselbegriffe bereitgestellt, die sich möglicherweise sowohl in der klinischen Routine als auch bei der Gestaltung künftiger Forschungsprotokolle als nützlich erweisen können.

Korrespondenzadresse

Spyros D. Mentzelopoulos

Evangelismos Allgemeines Krankenhaus, Abteilung für Intensivmedizin, Medizinische Fakultät der Nationalen und Kapodistrianischen Universität Athen
45–47 Ipsilandou Street, 10675 Athen, Griechenland
michael.baubin@tirol-kliniken.at

Korrespondierender Übersetzer

Univ.-Prof. Dr. Michael Baubin, MSc, FERC
Univ.-Klinik für Anästhesie und Intensivmedizin
Tirol Kliniken / Medizinische Universität Innsbruck
Anichstraße 35
A-6020 Innsbruck
michael.baubin@tirol-kliniken.at

Danksagung

Die Übersetzung dieses Kapitels wurde von Univ.-Prof. Dr. Michael Baubin, Dr. phil. Agnes Neumayr und Dr. Franz Josef Nierscher geleistet.

Die Autorengruppe dankt Nele Pauwels, Informationsspezialistin an der Universität Gent, Belgien, für ihre Unterstützung bei der Entwicklung der erforderlichen Suchstrategien.

Gavin D. Perkins wird vom National Institute for Health Research (NIHR) Applied Research Collaboration (ARC) West Midlands unterstützt. Die geäußerten Ansichten sind die der Autoren und nicht unbedingt die des NIHR oder des Department of Health and Social Care.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. M. Blom declares her role of co-coordinator EU project ESCAPE-NET. G.D. Perkins reports funding from Elsevier for his role as an editor of the journal *Resuscitation*. He reports research funding from the National Institute for Health Research (NIHR) in relation to the PARAMEDIC2 trial and the RESPECT project. [Stand 17.5. aus Originalartikel in *Resuscitation*]. S.D. Mentzelopoulos, K. Couper, P. Van de Voorde, P. Druwé, I. Lulic, J. Djakow, V. Raffay, G. Lilja und L. Bossaert declare that they have no competing interests.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

1. Bavel JJV, Baicker K, Boggio PS et al (2020) Using social and behavioural science to support COVID-19 pandemic response. *Nat Hum Behav* 4:460–471
2. Swire-Thompson B, Lazer D (2020) Public health and online misinformation: challenges and recommendations. *Annu Rev Public Health* 41:433–451
3. Perkins GD, Gräsner J-T, Semeraro F et al (2021) Kurzfassung. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. *Notfall Rettungsmed*. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00883-z>
4. Nolan JP, Monsieurs KG, Bossaert L et al (2020) European Resuscitation Council COVID-19 guidelines executive summary. *Resuscitation* 153:45–55
5. Oczkowski SJ, Chung HO, Hanvey L, Mbuagbaw L, You JJ (2016) Communication tools for end-of-life decision-making in ambulatory care settings: a systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE* 11:e150671
6. Higel T, Alaoui A, Bouton C, Fournier JP (2019) Effect of living wills on end-of-life care: a systematic review. *J Am Geriatr Soc* 67:164–171
7. Bossaert LL, Perkins GD, Askitopoulou H et al (2015) European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2015: section 11. The ethics of resuscitation and end-of-life decisions. *Resuscitation* 95:302–311
8. Sprung CL, Truog RD, Curtis JR et al (2014) Seeking worldwide professional consensus on the principles of end-of-life care for the critically ill. The consensus for worldwide end-of-life practice for patients in intensive care units (WELPICUS) study. *Am J Respir Crit Care Med* 190(8):855–866. <https://doi.org/10.1164/rccm.201403-0593CC>
9. Gilbert J, Boag J (2018) Nonstandard advance health care directives in emergency departments: ethical and legal dilemma or reality: a narrative review. *Adv Emerg Nurs J* 40(4):324–327. <https://doi.org/10.1097/TME.0000000000000214>
10. Martin DK, Emanuel LL, Singer PA (2000) Planning for the end of life. *Lancet* 356(9242):1672–1676. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)03168-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)03168-8)
11. Santonocito C, Ristagno G, Gullo A, Weil MH (2013) Do-not-resuscitate order: a view throughout the world. *J Crit Care* 28(1):14–21. <https://doi.org/10.1016/j.jccr.2012.07.005>
12. Mdel PV, Macchi MJ, Agranati AF (2013) Advance directives in the context of end-of-life palliative care. *Curr Opin Support Palliat Care* 7(4):406–410. <https://doi.org/10.1097/SPC.0000000000000007>
13. Andorno R, Biller-Andorno N, Brauer S (2009) Advance health care directives: towards a coordinated European policy? *Eur J Health Law* 16(3):207–227
14. Kon AA, Davidson JE, Morrison W et al (2016) Shared decision making in ICUs: an American College of Critical Care Medicine and American Thoracic Society policy statement. *Crit Care Med* 44:188–201
15. Davidson JE, Aslakson RA, Long AC et al (2017) Guidelines for family-centered care in the neonatal, pediatric, and adult ICU. *Crit Care Med* 45:103–128
16. Sutter R, Meyer-Zehnder B, Baumann SM, Marsch S, Pargger H (2020) Advance directives in the neurocritically ill: a systematic review. *Crit Care Med* 48:1188–1195
17. Becker C, Lecheler L, Hochstrasser S et al (2019) Association of communication interventions to discuss code status with patient decisions for do-not-resuscitate orders: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Netw Open* 2:e195033
18. Houben CHM, Spruit MA, Groenen MTJ, Wouters EFM, Janssen DJA (2014) Efficacy of advance care planning: a systematic review and meta-analysis. *JAMA* 15:477–489
19. Brinkman-Stoppelenburg A, Rietjens JA, van der Heide A (2014) The effects of advance care planning on end-of-life care: a systematic review. *Palliat Med* 28:1000–1025
20. Field RA, Fritz Z, Baker A, Grove A, Perkins GD (2014) Systematic review of interventions to improve appropriate use and outcomes associated with do-not-attempt-cardiopulmonary-resuscitation decisions. *Resuscitation* 85:1418–1431
21. Reinhardt JP, Downes D, Cimarolli V, Bomba P (2017) End-of-life conversations and hospice placement: association with less aggressive care desired in the nursing home. *J Soc Work End Life Palliat Care* 13:61–81
22. Siewiera J, Tomaszewski D, Piechocki J, Kubler A (2019) Withholding and withdrawing life-sustaining treatment: experiences in limiting futile therapy from three Polish intensive care departments. *Adv Clin Exp Med* 28:541–546
23. Fritz Z, Slowther AM, Perkins GD (2017) Resuscitation policy should focus on the patient, not the decision. *BMJ* 356:j813
24. Mockford C, Fritz Z, George R et al (2015) Do not attempt cardiopulmonary resuscitation (DNACPR) orders: a systematic review of the barriers and facilitators of decision-making and implementation. *Resuscitation* 88:99–113
25. Fokin AA, Wycech J, Katz JK et al (2020) Palliative care consultations in trauma patients and role of do-not-resuscitate orders: propensity-matched study. *Am J Hosp Palliat Care* 37:1068–1075
26. Mitchell SL, Shaffer ML, Cohen S, Hanson LC, Habtemariam D, Volandes AE (2018) An advance care planning video decision support tool for nursing home residents with advanced dementia: a cluster randomized clinical trial. *JAMA Intern Med* 178:961–969
27. El-Jawhri A, Mitchell SL, Paasche-Orlow MK et al (2015) A randomized controlled trial of a CPR and intubation video decision support tool for hospitalized patients. *J Gen Intern Med* 30:1071–1080
28. Merino AM, Greiner R, Hartwig K (2017) A randomized controlled trial of a CPR decision support video for patients admitted to the general medicine service. *J Hosp Med* 12:700–704
29. Cappell K, Sundaram V, Park A et al (2018) Advance directive utilization is associated with less aggressive end-of-life care in patients undergoing allogeneic hematopoietic cell transplantation. *Biol Blood Marrow Transplant* 24:1035–1040
30. Fu PK, Tung YC, Wang CY et al (2018) Early and late do-not-resuscitate (DNR) decisions in patients with terminal COPD: a retrospective study in the last year of life. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 13:2447–2454
31. Stream S, Nolan A, Kwon S, Constable C (2018) Factors associated with combined do-not-resuscitate and do-not-intubate orders: a retrospective chart review at an urban tertiary care center. *Resuscitation* 130:1–5
32. Reuter PG, Agostinucci JM, Bertrand P et al (2017) Prevalence of advance directives and impact on advanced life support in out-of-hospital cardiac arrest victims. *Resuscitation* 116:105–108
33. Kuchinad KE, Strowd R, Evans A, Riley WA, Smith TJ (2017) End of life care for glioblastoma patients at a large academic cancer center. *J Neurooncol* 134:75–81
34. Mills A, Walker A, Levinson M et al (2017) Resuscitation orders in acute hospitals: a point prevalence study. *Australas J Ageing* 36:32–37
35. McCarroll CM (2018) Increasing access to palliative care services in the intensive care unit. *Dimens Crit Care Nurs* 37:180–192
36. MacKenzie MA, Smith-Howell E, Bomba PA, Meghani SH (2018) Respecting choices and related models of advance care planning: a systematic review of published evidence. *Am J Hosp Palliat Care* 35:897–907
37. O'Halloran P, Noble H, Norwood K et al (2018) Advance care planning with patients who have end-stage kidney disease: a systematic realist review. *J Pain Symptom Manage* 56:795–807.e18
38. Voss H, Vogel A, Wagemans AMA et al (2017) Advance care planning in palliative care for people with intellectual disabilities: a systematic review. *J Pain Symptom Manage* 54:938–960.e1
39. Weathers E, O'Caomh R, Cornally N et al (2016) Advance care planning: a systematic review of randomised controlled trials conducted with older adults. *Maturitas* 91:101–109
40. Martin RS, Hayes B, Gregorevic K, Lim WK (2016) The effects of advance care planning interventions on nursing home residents: a systematic review. *JAMA* 17:284–293
41. Lim CE, Ng RW, Cheng NC, Cigolini M, Kwok C, Brennan F (2016) Advance care planning for haemodialysis patients. *Cochrane Database Syst Rev* 7:CD10737
42. Nair R, Kohan SA (2019) Can a patient-directed video improve inpatient advance care planning? A prospective pre-post cohort study. *BMJ Qual Saf* 28:887–893
43. Wen FH, Chen JS, Chou WC, Chang WC, Hsieh CH, Tang ST (2019) Extent and determinants of terminally ill cancer patients' concordance between preferred and received life-sustaining treatment states: an advance care planning randomized trial in Taiwan. *J Pain Symptom Manage* 58(1):1–10.e10
44. Jennings LA, Turner M, Keebler C et al (2019) The effect of a comprehensive dementia care management program on end-of-life care. *J Am Geriatr Soc* 67:443–448
45. Malhotra C, Sim D, Jaufeerally FR et al (2020) Impact of a formal advance care planning program on end-of-life care for patients with heart failure: results from a randomized controlled trial. *J Card Fail* 26:594–598
46. Walczak A, Butow PN, Bu S, Clayton JM (2016) A systematic review of evidence for end-of-life communication interventions: Who do they target, how are they structured and do they work? *Patient Educ Couns* 99:3–16
47. Kavalieratos D, Corbelli J, Zhang D et al (2016) Association between palliative care and patient and caregiver outcomes: a systematic review and meta-analysis. *JAMA* 316:2104–2114
48. Huber MT, Highland JD, Krishnamoorthi VR, Tang JW (2018) Utilizing the electronic health record to improve advance care planning: a systematic review. *Am J Hosp Palliat Care* 35:532–541
49. Kang E, Lee J, Choo J, Min J, Yun YH (2020) Randomized controlled trial of advance care planning video decision aid for the general population. *J Pain Symptom Manage* 59:1239–1247
50. Nedjat-Haiem FR, Cadet TJ, Amatya A, Thompson B, Mishra SI (2019) Efficacy of motivational interviewing to enhance advance directive completion in Latinos with chronic illness: a randomized controlled trial. *Am J Hosp Palliat Care* 36:980–992
51. Denis N, Timsit JF, Giaj Levra M et al (2020) Impact of systematic advanced care planning in lung cancer patients: a prospective study. *Respir Med* 77:11–17

52. Jain A, Corriveau S, Quinn K, Gardhouse A, Vegas DB, You JJ (2015) Video decision aids to assist with advance care planning: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open* 5:e7491
53. Oczkowski SJ, Chung HO, Hanvey L, Mbuagbaw L, You JJ (2016) Communication tools for end-of-life decision-making in the intensive care unit: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care* 20:97
54. El-Jawahri A, Paasche-Orlow MK, Matlock D et al (2016) Randomized, controlled trial of an advance care planning video decision support tool for patients with advanced heart failure. *Circulation* 134:52–60
55. Chan HY, Ng JS, Chan KS et al (2018) Effects of a nurse-led post-discharge advance care planning programme for community-dwelling patients nearing the end of life and their family members: a randomised controlled trial. *Int J Nurs Stud* 87:26–33
56. Green MJ, Van Scoy LJ, Foy AJ, Dimmock AEF, Lehman E, Levi BH (2020) Patients with advanced cancer choose less aggressive medical treatment on vignettes after using a computer-based decision aid. *Am J Hosp Palliat Care* 37:537–541
57. Kizawa Y, Okada H, Kawahara T, Morita T (2020) Effects of brief nurse advance care planning intervention with visual materials on goal-of-care preference of Japanese elderly patients with chronic disease: a pilot randomized-controlled trial. *J Palliat Med* 23:1076–1083
58. DeCoursey DD, Silverman M, Oladunjoye A, Wolfe J (2019) Advance care planning and parent-reported end-of-life outcomes in children, adolescents, and young adults with complex chronic conditions. *Crit Care Med* 47:101–108
59. Kernick LA, Hogg KJ, Millerick Y, Murtagh FEM, Djahit A, Johnson M (2018) Does advance care planning in addition to usual care reduce hospitalisation for patients with advanced heart failure: a systematic review and narrative synthesis. *Palliat Med* 32:1539–1551
60. Klingler C, in der Schmitt J, Marckmann G (2016) Does facilitated advance care planning reduce the costs of care near the end of life? Systematic review and ethical considerations. *Palliat Med* 30:423–433
61. Overbeek A, Polinder S, Haagsma J et al (2019) Advance care planning for frail older adults: findings on costs in a cluster randomised controlled trial. *Palliat Med* 33:291–300
62. Scarpi E, Dall'Agata M, Zagonel V et al (2019) Systematic vs. on-demand early palliative care in gastric cancer patients: a randomized clinical trial assessing patient and healthcare service outcomes. *Support Care Cancer* 27:2425–2434
63. Pedraza SL, Culp S, Knestrick M, Falkenstine E, Moss AH (2017) Association of physician orders for life-sustaining treatment form use with end-of-life care quality metrics in patients with cancer. *J Oncol Pract* 13:e881–e888
64. Thomas P, Hazif-Thomas C (2018) Discourse on life and Alzheimer's disease. *Soins Gerontol* 23:31–33
65. Hoell J, Weber HL, Balzer S et al (2018) Advance care planning and outcome in pediatric palliative home care. *Oncotarget* 9:17867–17875
66. Chong PH, De Castro Molina JA, Teo K, Tan WS (2018) Paediatric palliative care improves patient outcomes and reduces healthcare costs: evaluation of a home-based program. *BMC Palliat Care* 17:11
67. Suraarunsumrit P, Nopmaneejumruslers C, Srinonprasert V (2019) Advance care planning (ACP) associated with reduced health care utilization in deceased older patients with advanced stage of chronic diseases. *J Med Assoc Thai* 102:801–808
68. Marsac ML, Kindler C, Weiss D, Ragsdale L (2018) Let's talk about it: supporting family communication during end-of-life care of pediatric patients. *J Palliat Med* 21:862–878
69. Walczak A, Butow PN, Tattersall MH et al (2017) Encouraging early discussion of life expectancy and end-of-life care: a randomised controlled trial of a nurse-led communication support program for patients and caregivers. *Int J Nurs Stud* 67:31–40
70. Overbeek A, Korfage IJ, Jabbarian LJ et al (2018) Advance care planning in frail older adults: a cluster randomized controlled trial. *J Am Geriatr Soc* 66:1089–1095
71. Brazil K, Carter G, Cardwell C et al (2018) Effectiveness of advance care planning with family carers in dementia nursing homes: a paired cluster randomized controlled trial. *Palliat Med* 32:603–612
72. Mentzelopoulos SD, Slowther AM, Fritz Z et al (2018) Ethical challenges in resuscitation. *Intensive Care Med* 44:703–716
73. Gonella S, Basso I, Dimonte V et al (2019) Association between end-of-life conversations in nursing homes and end-of-life care outcomes: a systematic review and meta-analysis. *JAMA* 20:249–261
74. Allen LA, McIlvennan CK, Thompson JS et al (2018) Effectiveness of an intervention supporting shared decision making for destination therapy left ventricular assist device: the DECIDE-LVAD randomized clinical trial. *JAMA Intern Med* 178:520–529
75. Hanson LC, Zimmerman S, Song MK et al (2017) Effect of the goals of care intervention for advanced dementia: a randomized clinical trial. *JAMA Intern Med* 177:24–31
76. DeMartino ES, Braus NA, Sulmasy DP et al (2019) Decisions to withdraw extracorporeal membrane oxygenation support: patient characteristics and ethical considerations. *Mayo Clin Proc* 94:620–627
77. Hsu NC, Huang CC, Chen WC, Yu CJ (2019) Impact of patient-centred and family-centred care meetings on intensive care and resource utilisation in patients with terminal illness: a single-centre retrospective observational study in Taiwan. *BMJ Open* 9:e21561
78. Wilson ME, Krupa A, Hinds RF et al (2015) A video to improve patient and surrogate understanding of cardiopulmonary resuscitation choices in the ICU: a randomized controlled trial. *Crit Care Med* 43:621–629
79. Chen C, Michaels J, Meeker MA (2020) Family outcomes and perceptions of end-of-life care in the intensive care unit: a mixed-methods review. *J Palliat Care* 35:143–153
80. Lee HW, Park Y, Jang EJ, Lee YJ (2019) Intensive care unit length of stay is reduced by protocolized family support intervention: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med* 45:1072–1081
81. Martin RS, Hayes BJ, Hutchinson A, Tacey M, Yates P, Lim WK (2019) Introducing goals of patient care in residential aged care facilities to decrease hospitalization: a cluster randomized controlled trial. *JAMA* 20:1318–1324.e2
82. Hinkle LJ, Bosslet GT, Torke AM (2015) Factors associated with family satisfaction with end-of-life care in the ICU: a systematic review. *Chest* 147:82–93
83. White DB, Angus DC, Shields AM et al (2018) A randomized trial of a family-support intervention in intensive care units. *N Engl J Med* 378:2365–2375
84. Curtis JR, Treece PD, Nielsen EL et al (2016) Randomized trial of communication facilitators to reduce family distress and intensity of end-of-life care. *Am J Respir Crit Care Med* 193:154–162
85. Curtis JR, Nielsen EL, Treece PD et al (2011) Effect of a quality-improvement intervention on end-of-life care in the intensive care unit: a randomized trial. *Am J Respir Crit Care Med* 183:348–355
86. Sulmasy DP, Hughes MT, Yenokyan G et al (2017) The trial of ascertaining individual preferences for loved ones' role in end-of-life decisions (TAILORED) study: a randomized controlled trial to improve surrogate decision making. *J Pain Symptom Manage* 54:455–465
87. Carson SS, Cox CE, Wallenstein S et al (2016) Effect of palliative care-led meetings for families of patients with chronic critical illness: a randomized clinical trial. *JAMA* 316:51–62
88. Lautrette A, Darmon M, Megarbane B et al (2007) A communication strategy and brochure for relatives of patients dying in the ICU. *N Engl J Med* 356:469–478
89. Davidson JE, Jones C, Bienvenu OJ (2012) Family response to critical illness: postintensive care syndrome-family. *Crit Care Med* 40:618–624
90. Adelman RD, Tmanova LL, Delgado D, Dion S, Lachs MS (2014) Caregiver burden: a clinical review. *JAMA* 311:1052–1060
91. DeSanto-Madeya S, Safizadeh P (2017) Family satisfaction with end-of-life care in the intensive care unit: a systematic review of the literature. *Dimens Crit Care Nurs* 36:278–283
92. You JJ, Jayaraman D, Swinton M, Jiang X, Heyland DK (2019) Supporting shared decision-making about cardiopulmonary resuscitation using a video-based decision-support intervention in a hospital setting: a multisite before-after pilot study. *CMAJ Open* 7:E630–E637
93. Sahgal S, Yande A, Thompson BB et al (2021) Surrogate satisfaction with decision making after intracerebral hemorrhage. *Neurocrit Care* 34(1):193–200
94. Scheunemann LP, Erneckoff NC, Buddadhumaruk P et al (2019) Clinician-family communication about patients' values and preferences in intensive care units. *JAMA Intern Med* 179:676–684
95. Farrell TW, Ferrante LE, Brown T et al (2020) AGS position statement: resource allocation strategies and age-related considerations in the COVID-19 era and beyond. *J Am Geriatr Soc* 68:1136–1142
96. Farrell TW, Francis L, Brown T et al (2020) Rationing limited healthcare resources in the COVID-19 era and beyond: ethical considerations regarding older adults. *J Am Geriatr Soc* 68:1143–1149
97. Block BL, Smith AK, Sudore RL (2020) During COVID-19, outpatient advance care planning is imperative: we need all hands on deck. *J Am Geriatr Soc* 68:1395–1397
98. Zheng RJ, Fu Y, Xiang QF et al (2016) Knowledge, attitudes, and influencing factors of cancer patients toward approving advance directives in China. *Support Care Cancer* 24:4097–4103
99. Hopkins SA, Lovick R, Polak L et al (2020) Reassessing advance care planning in the light of covid-19. *BMJ* 369:m1927
100. Bledsoe TA, Jokela JA, Deep NN, Snyder Sulmasy L (2020) Universal do-not-resuscitate orders, social worth, and life-years: opposing discriminatory approaches to the allocation of resources during the COVID-19 pandemic and other health system catastrophes. *Ann Intern Med* 173:230–232
101. White DB, Lo B (2020) A framework for rationing ventilators and critical care beds during the COVID-19 pandemic. *JAMA* 323:1773–1774
102. Mentzelopoulos SD, Bossaert L, Greif R (2020) Coronavirus disease 2019 and ethical considerations

- for extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 154:127–128
103. Lee J, Abrukin L, Flores S et al (2020) Early intervention of palliative care in the emergency department during the COVID-19 pandemic. *JAMA Intern Med* 180:1252–1254
 104. Greif R, Bhanji F, Bigham BL et al (2020) Education, implementation, and teams: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A188–A239
 105. Pellegrino ED (2000) Is it ethical to withdraw low-burden interventions in chronically ill patients? *JAMA* 284:1380–1382
 106. Druwe P, Monsieurs KG, Piers Retal (2018) Perception of inappropriate cardiopulmonary resuscitation by clinicians working in emergency departments and ambulance services: the REAPPROPRIATE international, multi-centre, cross sectional survey. *Resuscitation* 132:112–119
 107. Munoz MG, Beyda DH (2017) An ethical justification for termination of resuscitation protocols for pediatric patients. *Pediatr Emerg Care* 33:505–515
 108. Ranola PA, Merchant RM, Perman SM et al (2015) How long is long enough, and have we done everything we should?—Ethics of calling codes. *J Med Ethics* 41:663–666
 109. Mercurio MR, Murray PD, Gross I (2014) Unilateral pediatric “do not attempt resuscitation” orders: the pros, the cons, and a proposed approach. *Pediatrics* 133(Suppl 1):S37–S43
 110. Weise KL, Okun AL, Carter BS et al (2017) Guidance on forgoing life-sustaining medical treatment. *Pediatrics* 140(3):e20171905
 111. Javaudin F, Le Bastard Q, Lascarrou JB et al (2019) The futility of resuscitating an out-of-hospital cardiac arrest cannot be summarized by three simple criteria. *Resuscitation* 144:199–200
 112. Grunau B, Scheuermeyer F, Kawano T et al (2019) North American validation of the Bokutoh criteria for withholding professional resuscitation in non-traumatic out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 135:51–56
 113. Rosoff PM, Schneiderman LJ (2017) Irrational exuberance: cardiopulmonary resuscitation as fetish. *Am J Bioeth* 17:26–34
 114. Druwe P, Benoit DD, Monsieurs KG et al (2020) Cardiopulmonary resuscitation in adults over 80: outcome and the perception of appropriateness by clinicians. *J Am Geriatr Soc* 68:39–45
 115. Van Norman GA (2017) Decisions regarding forgoing life-sustaining treatments. *Curr Opin Anaesthesiol* 30:211–216
 116. Ting PS, Chen L, Yang WC, Huang TS, Wu CC, Chen YY (2017) Gender and age disparity in the initiation of life-supporting treatments: a population-based cohort study. *BMC Med Ethics* 18:62
 117. Chiang WC, Ko PC, Chang AM et al (2014) Bystander-initiated CPR in an Asian metropolitan: Does the socioeconomic status matter? *Resuscitation* 85:53–58
 118. Ahaddour C, Van den Branden S, Broeckaert B (2018) Between quality of life and hope. Attitudes and beliefs of Muslim women toward withholding and withdrawing life-sustaining treatments. *Med Health Care Philos* 21:347–361
 119. Chamsi-Pasha H, Albar MA (2017) Do not resuscitate, brain death, and organ transplantation: Islamic perspective. *Avicenna J Med* 7:35–45
 120. Hansen C, Lauridsen KG, Schmidt AS, Lofgren B (2019) Decision-making in cardiac arrest: physicians’ and nurses’ knowledge and views on terminating resuscitation. *Open Access Emerg Med* 11:1–8
 121. Waldrop DP, Waldrop MR, McGinley JM, Crowley CR, Clemency B (2021) Prehospital providers’ perspectives about online medical direction in emergency end-of-life decision-making. *Prehosp Emerg Care*. <https://doi.org/10.1080/10903127.2020.1863532>
 122. Kang M, Kim J, Kim K (2014) Resuscitation duration inequality by patient characteristics in emergency department out-of-hospital cardiac arrest: an observational study. *Clin Exp Emerg Med* 1:87–93
 123. Wiel E, Di Pompeo C, Segal N et al (2018) Age discrimination in out-of-hospital cardiac arrest care: a case-control study. *Eur J Cardiovasc Nurs* 17:505–512
 124. Teefy J, Cram N, Van Zyl T, Van Aarsen K, McLeod S, Dukelow A (2020) Evaluation of the uptake of a prehospital cardiac arrest termination of resuscitation rule. *J Emerg Med* 58:254–259
 125. Ozer J, Alon G, Leykin D, Varon J, Aharonson-Daniel L, Einav S (2019) Culture and personal influences on cardiopulmonary resuscitation—results of international survey. *BMC Med Ethics* 20:102
 126. Long AC, Brumback LC, Curtis JR et al (2019) Agreement with consensus statements on end-of-life care: a description of variability at the level of the provider, hospital, and country. *Crit Care Med* 47:1396–1401
 127. Wang CH, Chang WT, Huang CH et al (2019) Factors associated with the decision to terminate resuscitation early for adult in-hospital cardiac arrest: influence of family in an East Asian society. *PLoS ONE* 14:e213168
 128. Brooks SC, Schmicker RH, Cheskes S et al (2017) Variability in the initiation of resuscitation attempts by emergency medical services personnel during out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 117:102–108
 129. Phua J, Joynt GM, Nishimura M et al (2016) Withholding and withdrawal of life-sustaining treatments in low-middle-income versus high-income Asian countries and regions. *Intensive Care Med* 42:1118–1127
 130. Campwala RT, Schmidt AR, Chang TP, Nager AL (2020) Factors influencing termination of resuscitation in children: a qualitative analysis. *Int J Emerg Med* 13:12
 131. Obladen M (2016) Despising the weak: long shadows of infant murder in Nazi Germany. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 101:F190–F194
 132. Brick C, Kahane G, Wilkinson D, Caviola L, Savulescu J (2020) Worth living or worth dying? The views of the general public about allowing disabled children to die. *J Med Ethics* 46:7–15
 133. Tibballs J (2007) Legal basis for ethical withholding and withdrawing life-sustaining medical treatment from infants and children. *J Paediatr Child Health* 43:230–236
 134. Welbourn C, Efstathiou N (2018) How does the length of cardiopulmonary resuscitation affect brain damage in patients surviving cardiac arrest? A systematic review. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 26:77
 135. Morrison LJ (2019) Prehospital termination of resuscitation rule. *Curr Opin Crit Care* 25:199–203
 136. Grunau B, Reynolds JC, Scheuermeyer FX et al (2016) Comparing the prognosis of those with initial shockable and non-shockable rhythms with increasing durations of CPR: informing minimum durations of resuscitation. *Resuscitation* 101:50–56
 137. Matsuyama T, Kitamura T, Kiyohara K et al (2017) Impact of cardiopulmonary resuscitation duration on neurologically favourable outcome after out-of-hospital cardiac arrest: a population-based study in Japan. *Resuscitation* 113:1–7
 138. Goto Y, Funada A, Goto Y (2016) Relationship between the duration of cardiopulmonary resuscitation and favorable neurological outcomes after out-of-hospital cardiac arrest: a prospective, nationwide, population-based cohort study. *J Am Heart Assoc* 5:e2819
 139. Chien CY, Su YC, Lin CC, Kuo CW, Lin SC, Weng YM (2016) Is 15 min an appropriate resuscitation duration before termination of a traumatic cardiac arrest? A case-control study. *Am J Emerg Med* 34:505–509
 140. Murakami N, Kokubu N, Nagano N et al (2020) Prognostic impact of no-flow time on 30-day neurological outcomes in patients with out-of-hospital cardiac arrest who received extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *Circ J* 84:1097–1104
 141. Drennan IR, Case E, Verbeek PR et al (2017) A comparison of the universal TOR guideline to the absence of prehospital ROSC and duration of resuscitation in predicting futility from out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 111:96–102
 142. Nagata T, Abe T, Hasegawa M, Hagihara A (2017) Factors associated with the outcome of out-of-hospital cardiopulmonary arrest among people over 80 years old in Japan. *Resuscitation* 113:63–69
 143. Petek BJ, Bennett DN, Ngo C et al (2019) Reexamination of the UN10 rule to discontinue resuscitation during in-hospital cardiac arrest. *JAMA Netw Open* 2:e194941
 144. Cheung BH, Mercer MP (2020) Prehospital disposition and patient outcomes in cardiac arrest AFTER resuscitation termination protocol change in an urban setting. *Prehosp Disaster med* 35:285–292
 145. Hreinsson JP, Thorvaldsson AP, Magnusson V, Fridriksson BT, Libungan BG, Karason S (2020) Identifying out-of-hospital cardiac arrest patients with no chance of survival: an independent validation of prediction rules. *Resuscitation* 146:19–25
 146. Winther-Jensen M, Kjaergaard J, Hassager C et al (2015) Resuscitation and post resuscitation care of the very old after out-of-hospital cardiac arrest is worthwhile. *Int J Cardiol* 201:616–623
 147. Funada A, Goto Y, Maeda T, Teramoto R, Hayashi K, Yamagishi M (2016) Improved survival with favorable neurological outcome in elderly individuals with out-of-hospital cardiac arrest in Japan—a nationwide observational cohort study. *Circ J* 80:1153–1162
 148. Fernando SM, Qureshi D, Tanuseputro P et al (2020) Long-term survival and costs following extracorporeal membrane oxygenation in critically ill children—a population-based cohort study. *Crit Care* 24:131
 149. Smith RJ, Reid DA, Santamaria JD (2019) Frailty is associated with reduced prospect of discharge home after in-hospital cardiac arrest. *Intern Med J* 49:978–985
 150. Nas J, Kleinnibbelink G, Hannink G et al (2020) Diagnostic performance of the basic and advanced life support termination of resuscitation rules: a systematic review and diagnostic meta-analysis. *Resuscitation* 148:3–13
 151. Ebell MH, Vellinga A, Masterson S, Yun P (2019) Meta-analysis of the accuracy of termination of resuscitation rules for out-of-hospital cardiac arrest. *Emerg Med J* 36:479–484
 152. Verhaert DV, Bonnes JL, Nas J et al (2016) Termination of resuscitation in the prehospital

- setting: a comparison of decisions in clinical practice vs. recommendations of a termination rule. *Resuscitation* 100:60–65
153. American College of Surgeons Committee on Trauma, American College of Emergency Physicians Pediatric Emergency Medicine, National Association of EMS Physicians, American Academy of Pediatrics Committee on Pediatric Emergency Medicine, Fallat ME (2014) Withholding or termination of resuscitation in pediatric out-of-hospital traumatic cardiopulmonary arrest. *Ann Emerg Med* 63(4):504–515
 154. Roterung VM, Trepels-Kottek S, Heimann K, Brokmann JC, Orlikowsky T, Schoberer M (2016) Adult “termination-of-resuscitation” (TOR)-criteria may not be suitable for children—a retrospective analysis. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 24:144
 155. Shibahashi K, Sugiyama K, Hamabe Y (2020) Pediatric out-of-hospital traumatic cardiopulmonary arrest after traffic accidents and termination of resuscitation. *Ann Emerg Med* 75:57–65
 156. Clark JD, Dudzinski DM (2013) The culture of dysthanasia: attempting CPR in terminally ill children. *Pediatrics* 131:572–580
 157. Ganz FD, Sharf R, Kaufman N, Einav S (2019) Perceptions of slow codes by nurses working on internal medicine wards. *Nurs Ethics* 26:1734–1743
 158. Einav S, Avidan A, Brezis M, Rubinow A (2006) Attitudes of medical practitioners towards “Do Not Resuscitate” orders. *Med Law* 25:219–228
 159. Vandeplassche S, van de Voorde P (2018) Retrospective population-based study of emergency medical services-attended out-of-hospital cardiac arrests in children in Belgium. *Eur J Emerg Med* 25:400–403
 160. Kelly J (2007) Literature review: decision-making regarding slow resuscitation. *J Clin Nurs* 16:1989–1996
 161. Kelly J (2008) Nurses’ and doctors’ perspectives on slow codes. *Nurs Ethics* 15:110–120
 162. Soar J, Berg KM, Andersen LW et al (2020) Adult advanced life support: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A80–A119
 163. Maconochie IK, Aickin R, Hazinski MF et al (2020) Pediatric life support: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A120–A155
 164. D’Arrigo S, Cacciola S, Dennis M et al (2017) Predictors of favourable outcome after in-hospital cardiac arrest treated with extracorporeal cardiopulmonary resuscitation: a systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 121:62–70
 165. Ortega-Deballon I, Hornby L, Shemie SD, Bhanji F, Guadagno E (2016) Extracorporeal resuscitation for refractory out-of-hospital cardiac arrest in adults: a systematic review of international practices and outcomes. *Resuscitation* 101:12–20
 166. Harvey MJ, Gaies MG, Prosser LA (2015) U.S. and international in-hospital costs of extracorporeal membrane oxygenation: a systematic review. *Appl Health Econ Health Policy* 13:341–357
 167. Holmberg MJ, Geri G, Wiberg S et al (2018) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for cardiac arrest: a systematic review. *Resuscitation* 131:91–100
 168. Bougouin W, Dumas F, Lamhaut L et al (2020) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest: a registry study. *Eur Heart J* 41:1961–1971
 169. Ontario Health (Quality) (2020) Extracorporeal membrane oxygenation for cardiac indications in adults: a health technology assessment. *Ont Health Technol Assess Ser* 20:1–121
 170. Grunau B, Hornby L, Singal RK et al (2018) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for refractory out-of-hospital cardiac arrest: the state of the evidence and framework for application. *Can J Cardiol* 34:146–155
 171. Dalle Ave AL, Shaw DM, Gardiner D (2016) Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) assisted cardiopulmonary resuscitation or uncontrolled donation after the circulatory determination of death following out-of-hospital refractory cardiac arrest—An ethical analysis of an unresolved clinical dilemma. *Resuscitation* 108:87–94
 172. Pujara D, Sandoval E, Simpson L, Mallidi HR, Singh SK (2015) The state of the art in extracorporeal membrane oxygenation. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 27:17–23
 173. Singer B, Reynolds JC, Lockey DJ, O’Brien B (2018) Pre-hospital extra-corporeal cardiopulmonary resuscitation. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 26:21
 174. Gravesteyn BY, Schlupe M, Voormolen DC et al (2019) Cost-effectiveness of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation after in-hospital cardiac arrest: a Markov decision model. *Resuscitation* 143:150–157
 175. Meltzer EC, Ivascu NS, Stark M et al (2016) A survey of physicians’ attitudes toward decision-making authority for initiating and withdrawing VA-ECMO: results and ethical implications for shared decision making. *J Clin Ethics* 27:281–289
 176. St-Onge M, Fan E, Megarbane B, Hancock-Howard R, Coyte PC (2015) Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation for patients in shock or cardiac arrest secondary to cardiotoxicant poisoning: a cost-effectiveness analysis. *J Crit Care* 30:437.e7–437.e14
 177. Dennis M, Zmudzki F, Burns B et al (2019) Cost effectiveness and quality of life analysis of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (ECPR) for refractory cardiac arrest. *Resuscitation* 139:49–56
 178. Tonna JE, Selzman CH, Girotra S et al (2020) Patient and institutional characteristics influence the decision to use extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for in-hospital cardiac arrest. *J Am Heart Assoc* 9:e15522
 179. Poppe M, Schrieffl C, Steinacher A et al (2020) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation at the emergency department: a retrospective patient selection evaluation. *Eur J Anaesthesiol* 37:280–285
 180. Yoshida T, Fujitani S, Wakatake H et al (2020) Exploratory observational study of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for nonshockable out-of-hospital cardiac arrest occurring after an emergency medical services arrival: SOS-KANTO 2012 study report. *J Emerg Med* 58:375–384
 181. Lunz D, Calabro L, Belliato M et al (2020) Extracorporeal membrane oxygenation for refractory cardiac arrest: a retrospective multicenter study. *Intensive Care Med* 46:973–982
 182. Chonde M, Escajeda J, Elmer J et al (2020) Challenges in the development and implementation of a healthcare system based extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (ECPR) program for the treatment of out of hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 148:259–265
 183. McDonald L, Mastoras G, Hickey M, McDonald B, Kwok ESH (2020) Evaluating the potential impact of an emergency department extracorporeal resuscitation (ECPR) program: a health records review. *CJEM* 22:375–378
 184. Cheatham OV, Thomas MJ, Hadfield J, O’Higgins F, Mitchell C, Rooney KD (2016) Rates of organ donation in a UK tertiary cardiac arrest centre following out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 101:41–43
 185. Nolan JP, Ferrando P, Soar J et al (2016) Increasing survival after admission to UK critical care units following cardiopulmonary resuscitation. *Crit Care* 20:219
 186. Sandroni C, D’Arrigo S, Callaway CW et al (2016) The rate of brain death and organ donation in patients resuscitated from cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med* 42:1661–1671
 187. Nolan JP, Sandroni C, Böttiger BW et al (2021) Postreanimationsbehandlung. Leitlinien des European Resuscitation Council und der European Society of Intensive Care Medicine 2021. *Notfall Rettungsmed*. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00892-y>
 188. Soar J, Böttiger BW, Carli P et al (2021) Erweiterte lebensrettende Maßnahmen für Erwachsene. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021. *Notfall Rettungsmed*. <https://doi.org/10.1007/s10049-021-00893-x>
 189. Ortega-Deballon I, Hornby L, Shemie SD (2015) Protocols for uncontrolled donation after circulatory death: a systematic review of international guidelines, practices and transplant outcomes. *Crit Care* 19:268
 190. DuBois JM, Anderson EE (2006) Attitudes toward death criteria and organ donation among healthcare personnel and the general public. *Prog Transplant* 16:65–73
 191. Shah SK, Kasper K, Miller FG (2015) A narrative review of the empirical evidence on public attitudes on brain death and vital organ transplantation: the need for better data to inform policy. *J Med Ethics* 41:291–296
 192. Escudero D, Otero J, Menéndez de León B, Perez-Basterrechea M (2017) Organ donation and elective ventilation: a necessary strategy. *Biomed Res Int* 2017:7518375
 193. Dalle Ave AL, Gardiner D, Shaw DM (2016) Cardiopulmonary resuscitation of brain-dead organ donors: a literature review and suggestions for practice. *Transpl Int* 29:12–19
 194. Weiss MJ, English SW, D’Aragon F et al (2020) Survey of Canadian intensivists on physician non-referral and family override of deceased organ donation. *Can J Anaesth* 67:313–323
 195. Reed MJ, Lua SB (2014) Uncontrolled organ donation after circulatory death: potential donors in the emergency department. *Emerg Med J* 31:741–744
 196. Bruce CM, Reed MJ, MacDougall M (2013) Are the public ready for organ donation after out of hospital cardiac arrest? *Emerg Med J* 30:226–231
 197. Dhanani S, Hornby L, Ward R et al (2014) Vital signs after cardiac arrest following withdrawal of life-sustaining therapy: a multicenter prospective observational study. *Crit Care Med* 42:2358–2369
 198. Sque M, Walker W, Long-Sutehall T, Morgan M, Randhawa G, Rodney A (2018) Bereaved donor families’ experiences of organ and tissue donation, and perceived influences on their decision making. *J Crit Care* 45:82–89
 199. Dalle Ave AL, Bernat JL (2018) Uncontrolled donation after circulatory determination of death: a systematic ethical analysis. *J Intensive Care Med* 33:624–634

200. Joffe AR, Carcillo J, Anton N et al (2011) Donation after cardiocirculatory death: a call for a moratorium pending full public disclosure and fully informed consent. *Philos Ethics Humanit Med* 6:17
201. Rodriguez-Arias D, Tortosa JC, Burant CJ, Aubert P, Aulisio MP, Youngner SJ (2013) One or two types of death? Attitudes of health professionals towards brain death and donation after circulatory death in three countries. *Med Health Care Philos* 16:457–467
202. Verheijde JL, Rady MY, McGregor J (2009) Presumed consent for organ preservation in uncontrolled donation after cardiac death in the United States: a public policy with serious consequences. *Philos Ethics Humanit Med* 4:15
203. Rodriguez-Arias D, Smith MJ, Lazar NM (2011) Donation after circulatory death: burying the dead donor rule. *Am J Bioeth* 11:36–43
204. Maconochie IK, Bingham R, Eich C et al (2015) European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2015: section 6. Paediatric life support. *Resuscitation* 95:223–248
205. Oczkowski SJ, Mazzetti I, Cupido C, Fox-Robichaud AE (2015) Family presence during resuscitation: a Canadian Critical Care Society position paper. *Can Respir J* 22:201–205
206. Barreto MDS, Peruzzo HE, Garcia-Vivar C, Marcon SS (2019) Family presence during cardiopulmonary resuscitation and invasive procedures: a meta-synthesis. *Rev Esc Enferm USP* 53:e3435
207. Oczkowski SJ, Mazzetti I, Cupido C, Fox-Robichaud AE (2015) The offering of family presence during resuscitation: a systematic review and meta-analysis. *J Intensive Care* 3:41
208. Sak-Dankosky N, Andruszkiewicz P, Sherwood PR, Kvist T (2014) Integrative review: nurses' and physicians' experiences and attitudes towards inpatient-witnessed resuscitation of an adult patient. *J Adv Nurs* 70:957–974
209. Toronto CE, LaRocco SA (2019) Family perception of and experience with family presence during cardiopulmonary resuscitation: an integrative review. *J Clin Nurs* 28:32–46
210. Vincent C, Lederman Z (2017) Family presence during resuscitation: extending ethical norms from paediatrics to adults. *J Med Ethics* 43:676–678
211. Mark K (2021) Family presence during paediatric resuscitation and invasive procedures: the parental experience: an integrative review. *Scand J Caring Sci* 35(1):20–36
212. Timmis V (2020) Should family members be present at resuscitation? *Arch Dis Child* 105:506–508
213. Kenny G, Bray I, Pontin D, Jefferies R, Albarran J (2017) A randomised controlled trial of student nurse performance of cardiopulmonary resuscitation in a simulated family-witnessed resuscitation scenario. *Nurse Educ Pract* 24:21–26
214. Krochmal RL, Blenko JW, Afshar M et al (2017) Family presence at first cardiopulmonary resuscitation and subsequent limitations on care in the medical intensive care unit. *Am J Crit Care* 26:221–228
215. Goldberger ZD, Nallamothu BK, Nichol G et al (2015) Policies allowing family presence during resuscitation and patterns of care during in-hospital cardiac arrest. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 8:226–234
216. Tripou C, Defossez G, Ragot S et al (2014) Parental presence during cardiopulmonary resuscitation of children: the experience, opinions and moral positions of emergency teams in France. *Arch Dis Child* 99:310–315
217. Nowland R, Steeg S, Quinlivan LM et al (2019) Management of patients with an advance decision and suicidal behaviour: a systematic review. *BMJ Open* 9:e23978
218. Weerasuriya D, Sheikh S, Morgan BW (2012) Do-not-resuscitate orders in fatal toxic exposures: a poison center's review. *West J Emerg Med* 13:294–297
219. Ryan CJ, Callaghan S (2010) Legal and ethical aspects of refusing medical treatment after a suicide attempt: the Wooltorton case in the Australian context. *Med J Aust* 193:239–242
220. Sontheimer D (2008) Suicide by advance directive? *J Med Ethics* 34:e4
221. Philpot SJ (2019) Should an advance care directive refusing life-sustaining treatment be respected after an attempted suicide? Development of an algorithm to aid health care workers. *J Law Med* 26:557–570
222. Venkat A, Drori J (2014) When to say when: responding to a suicide attempt in the acute care setting. *Narrat Inq Bioeth* 4:263–270
223. Terman SA (2013) Is the principle of proportionality sufficient to guide physicians' decisions regarding withholding/withdrawing life-sustaining treatment after suicide attempts? *Am J Bioeth* 13:22–24
224. Brown SM, Elliott CG, Paine R (2013) Withdrawal of nonfutile life support after attempted suicide. *Am J Bioeth* 13:3–12
225. Song J, Guo W, Lu X, Kang X, Song Y, Gong D (2018) The effect of bystander cardiopulmonary resuscitation on the survival of out-of-hospital cardiac arrests: a systematic review and meta-analysis. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 26:86
226. Grasner JT, Wnent J, Herlitz J et al (2020) Survival after out-of-hospital cardiac arrest in Europe—results of the EuReCa TWO study. *Resuscitation* 148:218–226
227. Hansen SM, Hansen CM, Folke F et al (2017) Bystander defibrillation for out-of-hospital cardiac arrest in public vs residential locations. *JAMA Cardiol* 2:507–514
228. Wissenberg M, Lippert FK, Folke F et al (2013) Association of national initiatives to improve cardiac arrest management with rates of bystander intervention and patient survival after out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA* 310:1377–1384
229. Scquizzato T, Pallanch O, Belletti A et al (2020) Enhancing citizens response to out-of-hospital cardiac arrest: a systematic review of mobile-phone systems to alert citizens as first responders. *Resuscitation* 152:16–25
230. Tay PJM, Pek PP, Fan Q et al (2020) Effectiveness of a community based out-of-hospital cardiac arrest (OHCA) interventional bundle: results of a pilot study. *Resuscitation* 146:220–228
231. Perkins GD, Olasveengen TM, Maconochie I et al (2018) European Resuscitation Council guidelines for resuscitation: 2017 update. *Resuscitation* 123:43–50
232. Ro YS, Shin SD, Song KJ et al (2016) Public awareness and self-efficacy of cardiopulmonary resuscitation in communities and outcomes of out-of-hospital cardiac arrest: a multi-level analysis. *Resuscitation* 102:17–24
233. Ko SY, Ro YS, Shin SD, Song KJ, Hong KJ, Kong SY (2018) Effect of a first responder on survival outcomes after out-of-hospital cardiac arrest occurs during a period of exercise in a public place. *PLoS ONE* 13:e193361
234. Smida T, Willson C, Salerno J, Weiss L, Salcido DD (2020) Can you get there from here? An analysis of walkability among PulsePoint CPR alert dispatches. *Resuscitation* 148:135–139
235. Anto-Ocrah M, Maxwell N, Cushman J et al (2020) Public knowledge and attitudes towards bystander cardiopulmonary resuscitation (CPR) in Ghana, West Africa. *Int J Emerg Med* 13:29
236. Matsuyama T, Scapigliati A, Pellis T, Greif R, Iwami T (2020) Willingness to perform bystander cardiopulmonary resuscitation: a scoping review. *Resusc Plus* 4:100043
237. Brinkrolf P, Bohn A, Lukas RP et al (2017) Senior citizens as rescuers: Is reduced knowledge the reason for omitted lay-resuscitation-attempts? Results from a representative survey with 2004 interviews. *PLoS ONE* 12:e178938
238. Dobbie F, MacKintosh AM, Clegg G, Stirzaker R, Bauld L (2018) Attitudes towards bystander cardiopulmonary resuscitation: results from a cross-sectional general population survey. *PLoS ONE* 13:e193391
239. Sasson C, Haukoos JS, Bond C et al (2013) Barriers and facilitators to learning and performing cardiopulmonary resuscitation in neighborhoods with low bystander cardiopulmonary resuscitation prevalence and high rates of cardiac arrest in Columbus, OH. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 6:550–558
240. Cheskes L, Morrison LJ, Beaton D, Parsons J, Dainty KN (2016) Are Canadians more willing to provide chest-compression-only cardiopulmonary resuscitation (CPR)?—A nation-wide public survey. *CJEM* 18:253–263
241. Malta Hansen C, Rosenkranz SM, Folke F et al (2017) Lay bystanders' perspectives on what facilitates cardiopulmonary resuscitation and use of automated external defibrillators in real cardiac arrests. *J Am Heart Assoc* 6(3):e4572
242. Tanigawa K, Iwami T, Nishiyama C, Nonogi H, Kawamura T (2011) Are trained individuals more likely to perform bystander CPR? An observational study. *Resuscitation* 82:523–528
243. Liaw SY, Chew KS, Zulkarnain A et al (2020) Improving perception and confidence towards bystander cardiopulmonary resuscitation and public access automated external defibrillator program: How does training program help? *Int J Emerg Med* 13:13
244. Fukushima H, Asai H, Seki T, Takano K, Bolstad F (2020) The effect of 10-min dispatch-assisted cardiopulmonary resuscitation training: a randomized simulation pilot study. *Int J Emerg Med* 13:31
245. Olasveengen TM, Mancini ME, Perkins GD et al (2020) Adult basic life support: international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A35–A79
246. Ringh M, Rosenqvist M, Hollenberg J et al (2015) Mobile-phone dispatch of laypersons for CPR in out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 372:2316–2325
247. Caputo ML, Muschiatti S, Burkart R et al (2017) Lay persons alerted by mobile application system initiate earlier cardio-pulmonary resuscitation: a comparison with SMS-based system notification. *Resuscitation* 114:73–78
248. Berglund E, Claesson A, Nordberg P et al (2018) A smartphone application for dispatch of lay responders to out-of-hospital cardiac arrests. *Resuscitation* 126:160–165
249. Hansen CM, Kragholm K, Granger CB et al (2015) The role of bystanders, first responders, and emergency medical service providers in timely defibrillation and related outcomes after out-of-hospital cardiac arrest: results from a statewide registry. *Resuscitation* 96:303–309

250. Sarkisian L, Mickley H, Schakow H et al (2020) Global positioning system alerted volunteer first responders arrive before emergency medical services in more than four out of five emergency calls. *Resuscitation* 152:170–176
251. Raun L, Pederson J, Campos L, Ensor K, Persse D (2019) Effectiveness of the dual dispatch to cardiac arrest policy in Houston, Texas. *J Public Health Manag Pract* 25:E13–E21
252. Pijls RWM, Nelemans PJ, Rahel BM, Gorgels APM (2019) Characteristics of a novel citizen rescue system for out-of-hospital cardiac arrest in the Dutch province of Limburg: relation to incidence and survival. *Neth Heart J* 27:100–107
253. Zijlstra JA, Stieglis R, Riedijk F, Smeekes M, van der Worp WE, Koster RW (2014) Local lay rescuers with AEDs, alerted by text messages, contribute to early defibrillation in a Dutch out-of-hospital cardiac arrest dispatch system. *Resuscitation* 85:1444–1449
254. Stroop R, Kermer T, Strickmann B, Hensel M (2020) Mobile phone-based alerting of CPR-trained volunteers simultaneously with the ambulance can reduce the resuscitation-free interval and improve outcome after out-of-hospital cardiac arrest: a German, population-based cohort study. *Resuscitation* 147:57–64
255. Boland LL, Formanek MB, Harkins KK et al (2017) Minnesota Heart Safe Communities: Are community-based initiatives increasing pre-ambulance CPR and AED use? *Resuscitation* 119:33–36
256. Park YM, Shin SD, Lee YJ, Song KJ, Ro YS, Ahn KO (2017) Cardiopulmonary resuscitation by trained responders versus lay persons and outcomes of out-of-hospital cardiac arrest: a community observational study. *Resuscitation* 118:55–62
257. Nord A, Svensson L, Karlsson T, Claesson A, Herlitz J, Nilsson L (2017) Increased survival from out-of-hospital cardiac arrest when off duty medically educated personnel perform CPR compared with laymen. *Resuscitation* 120:88–94
258. Dainty KN, Vaid H, Brooks SC (2017) North American public opinion survey on the acceptability of crowdsourcing basic life support for out-of-hospital cardiac arrest with the PulsePoint mobile phone app. *JMIR Mhealth Uhealth* 5:e63
259. Brooks SC, Simmons G, Worthington H, Bobrow BJ, Morrison LJ (2016) The PulsePoint Respond mobile device application to crowdsource basic life support for patients with out-of-hospital cardiac arrest: challenges for optimal implementation. *Resuscitation* 98:20–26
260. Smith CM, Wilson MH, Ghorbangholi A et al (2017) The use of trained volunteers in the response to out-of-hospital cardiac arrest—the GoodSAM experience. *Resuscitation* 121:123–126
261. Jaffe E, Dadon Z, Alpert EA (2018) Wisdom of the crowd in saving lives: the Life Guardians app. *Prehosp Disaster Med* 33:550–552
262. Barry T, Doheny MC, Masterson S et al (2019) Community first responders for out-of-hospital cardiac arrest in adults and children. *Cochrane Database Syst Rev* 7:CD12764
263. Krammel M, Lobmeyr E, Sulzgruber P et al (2020) The impact of a high-quality basic life support police-based first responder system on outcome after out-of-hospital cardiac arrest. *PLoS ONE* 15:e233966
264. Svensson A, Elmquist C, Fridlund B, Rask M, Andersson R, Stening K (2020) Using firefighters as medical first responders to shorten response time in rural areas in Sweden. *Aust J Rural Health* 28:6–14
265. Haskins B, Smith K, Cameron P et al (2020) The impact of bystander relation and medical training on out-of-hospital cardiac arrest outcomes. *Resuscitation* 150:72–79
266. Sayre MR, Barnard LM, Counts CR et al (2020) Prevalence of COVID-19 in out-of-hospital cardiac arrest: implications for bystander cardiopulmonary resuscitation. *Circulation* 142:507–509
267. Mausz J, Snobelen P, Tavares W (2018) “Please. Don’t. Die.”: A grounded theory study of bystander cardiopulmonary resuscitation. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 11:e4035
268. Rosoff PM, Schneiderman LJ (2017) Response to open peer commentaries on “irrational exuberance: cardiopulmonary resuscitation as fetish”. *Am J Bioeth* 17:W1–W3
269. Field RA, Soar J, Nolan JP, Perkins GD (2011) Epidemiology and outcome of cardiac arrests reported in the lay-press: an observational study. *JR Soc Med* 104:525–531
270. Mathiesen WT, Børshol CA, Braut GS, Soreide E (2016) Reactions and coping strategies in lay rescuers who have provided CPR to out-of-hospital cardiac arrest victims: a qualitative study. *BMJ Open* 6:e10671
271. Zijlstra JA, Beesems SG, De Haan RJ, Koster RW (2015) Psychological impact on dispatched local lay rescuers performing bystander cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 92:115–121
272. Nord-Ljungquist H, Engström A, Fridlund B, Elmquist C (2020) Lone and lonely in a double ambivalence situation as experienced by callers while waiting for the ambulance in a rural environment. *Scand J Caring Sci* 34:566–574
273. Schnaubelt S, Monsieurs KG, Semeraro F et al (2020) Clinical outcomes from out-of-hospital cardiac arrest in low-resource settings—a scoping review. *Resuscitation* 156:137–145
274. Schwartz CE, Wheeler HB, Hammes B et al (2002) Early intervention in planning end-of-life care with ambulatory geriatric patients: results of a pilot trial. *Arch Intern Med* 162:1611–1618
275. Doorenbos AZ, Levy WC, Curtis JR, Dougherty CM (2016) An intervention to enhance goals-of-care communication between heart failure patients and heart failure providers. *J Pain Symptom Manage* 52:353–360
276. Houben CHM, Spruit MA, Luyten H et al (2019) Cluster-randomised trial of a nurse-led advance care planning session in patients with COPD and their loved ones. *Thorax* 74:328–336
277. Engelhardt JB, Rizzo VM, Della Penna RD et al (2009) Effectiveness of care coordination and health counseling in advancing illness. *Am J Manag Care* 15:817–825
278. Briggs LA, Kirchoff KT, Hammes BJ, Song MK, Colvin ER (2004) Patient-centered advance care planning in special patient populations: a pilot study. *J Prof Nurs* 20:47–58
279. Fischer SM, Cervantes L, Fink RM, Kutner JS (2015) Apoyo canino: a pilot randomized controlled trial of a patient navigator intervention to improve palliative care outcomes for Latinos with serious illness. *J Pain Symptom Manage* 49:657–665
280. Perry E, Swartz J, Brown S, Smith D, Kelly G, Swartz R (2005) Peer mentoring: a culturally sensitive approach to end-of-life planning for long-term dialysis patients. *Am J Kidney Dis* 46:111–119
281. McCannon JB, O’Donnell WJ, Thompson BT et al (2012) Augmenting communication and decision making in the intensive care unit with a cardiopulmonary resuscitation video decision support tool: a temporal intervention study. *J Palliat Med* 15:1382–1387
282. Volandes AE, Ferguson LA, Davis AD et al (2011) Assessing end-of-life preferences for advanced dementia in rural patients using an educational video: a randomized controlled trial. *J Palliat Med* 14:169–177
283. Epstein AS, Volandes AE, Chen LY et al (2013) A randomized controlled trial of a cardiopulmonary resuscitation video in advance care planning for progressive pancreas and hepatobiliary cancer patients. *J Palliat Med* 16:623–631
284. Sharma RK, Szmulowicz E, Ogunseitan A et al (2017) Evaluation of a mastery learning intervention on hospitalists’ code status discussion skills. *J Pain Symptom Manage* 53:1066–1070
285. Deep KS, Griffith CH, Wilson JF (2008) Communication and decision making about life-sustaining treatment: examining the experiences of resident physicians and seriously-ill hospitalized patients. *J Gen Intern Med* 23:1877–1882
286. Mian P, Warchal S, Whitney S et al (2007) Impact of a multifaceted intervention on nurses’ and physicians’ attitudes and behaviors toward family presence during resuscitation. *Crit Care Nurse* 27:52–61
287. Pye S, Kane J, Jones A (2010) Parental presence during pediatric resuscitation: the use of simulation training for cardiac intensive care nurses. *J Spec Pediatr Nurs* 15:172–175
288. Feagan LM, Fisher NJ (2011) The impact of education on provider attitudes toward family-witnessed resuscitation. *J Emerg Nurs* 37:231–239
289. Morrison RS, Chichin E, Carter J, Burack O, Lantz M, Meier DE (2005) The effect of a social work intervention to enhance advance care planning documentation in the nursing home. *J Am Geriatr Soc* 53:290–294
290. Anderson N, Slark J, Gott M (2019) How are ambulance personnel prepared and supported to withhold or terminate resuscitation and manage patient death in the field? A scoping review. *Australas J Paramed*. <https://doi.org/10.33151/ajp.16.697>
291. Whitehead L, Perkins GD, Clarey A, Haywood KL (2015) A systematic review of the outcomes reported in cardiac arrest clinical trials: the need for a core outcome set. *Resuscitation* 88:150–157
292. Sawyer KN, Camp-Rogers TR, Kotini-Shah P et al (2020) Sudden cardiac arrest survivorship: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 141:e654–e685
293. Nolan JP, Soar J, Smith GB et al (2014) Incidence and outcome of in-hospital cardiac arrest in the United Kingdom National Cardiac Arrest Audit. *Resuscitation* 85:987–992
294. Hawkes C, Booth S, Ji C et al (2017) Epidemiology and outcomes from out-of-hospital cardiac arrests in England. *Resuscitation* 110:133–140
295. Moulart VR, Goossens M, Heijnders IL, Verbunt JA, Heugten CM (2016) Early neurologically focused follow-up after cardiac arrest is cost-effective: a trial-based economic evaluation. *Resuscitation* 106:30–36
296. Gates S, Lall R, Quinn T et al (2017) Prehospital randomised assessment of a mechanical compression device in out-of-hospital cardiac arrest (PARAMEDIC): a pragmatic, cluster randomised trial and economic evaluation. *Health Technol Assess* 21:1–176
297. Achana F, Petrou S, Madan J et al (2020) Cost-effectiveness of adrenaline for out-of-hospital cardiac arrest. *Crit Care* 24:579
298. Orioles A, Morrison WE, Rossano JW et al (2013) An under-recognized benefit of cardiopulmonary

- resuscitation: organ transplantation. *Crit Care Med* 41:2794–2799
299. Chan PS, Krein SL, Tang F et al (2016) Resuscitation practices associated with survival after in-hospital cardiac arrest: a nationwide survey. *JAMA Cardiol* 1:189–197
 300. Couper K, Kimani PK, Gale CP et al (2018) Patient, health service factors and variation in mortality following resuscitated out-of-hospital cardiac arrest in acute coronary syndrome: Analysis of the Myocardial Ischaemia National Audit Project. *Resuscitation* 124:49–57
 301. Lilford R, Mohammed MA, Spiegelhalter D, Thomson R (2004) Use and misuse of process and outcome data in managing performance of acute medical care: avoiding institutional stigma. *Lancet* 363:1147–1154
 302. Perkins GD, Brace-McDonnell SJ (2015) The UK Out of Hospital Cardiac Arrest Outcome (OHCAO) project. *BMJ Open* 5:e8736
 303. Blewer AL, McGovern SK, Schmicker RH et al (2018) Gender disparities among adult recipients of bystander cardiopulmonary resuscitation in the public. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 11:e4710
 304. Brown TP, Booth S, Hawkes CA et al (2019) Characteristics of neighbourhoods with high incidence of out-of-hospital cardiac arrest and low bystander cardiopulmonary resuscitation rates in England. *Eur Heart J Qual Care Clin Outcomes* 5:51–62
 305. Edelson DP, Yuen TC, Mancini ME et al (2014) Hospital cardiac arrest resuscitation practice in the United States: a nationally representative survey. *J Hosp Med* 9:353–357
 306. Tirkkonen J, Nurmi J, Olkkola KT, Tenhunen J, Hoppu S (2014) Cardiac arrest teams and medical emergency teams in Finland: a nationwide cross-sectional postal survey. *Acta Anaesthesiol Scand* 58:420–427
 307. Carberry J, Couper K, Yeung J (2017) The implementation of cardiac arrest treatment recommendations in English acute NHS trusts: a national survey. *Postgrad Med J* 93:653–659
 308. Soar J, Maconochie I, Wyckoff MH et al (2019) 2019 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 145:95–150
 309. Yeung J, Matsuyama T, Bray J, Reynolds J, Skrifvars MB (2019) Does care at a cardiac arrest centre improve outcome after out-of-hospital cardiac arrest?—A systematic review. *Resuscitation* 137:102–115
 310. Perkins GD, Jacobs IG, Nadkarni VM et al (2015) Cardiac arrest and cardiopulmonary resuscitation outcome reports: update of the Utstein resuscitation registry templates for out-of-hospital cardiac arrest: a statement for healthcare professionals from a task force of the International Liaison Committee on Resuscitation (American Heart Association, European Resuscitation Council, Australian and New Zealand Council on Resuscitation, Heart and Stroke Foundation of Canada, Inter-American Heart Foundation, Resuscitation Council of Southern Africa, Resuscitation Council of Asia); and the American Heart Association Emergency Cardiovascular Care Committee and the Council on Cardiopulmonary, Critical Care, Perioperative and Resuscitation. *Resuscitation* 96:328–340
 311. Nolan JP, Berg RA, Andersen LW et al (2019) Cardiac arrest and cardiopulmonary resuscitation outcome reports: update of the Utstein resuscitation registry template for in-hospital cardiac arrest: a consensus report from a task force of the International Liaison Committee on Resuscitation (American Heart Association, European Resuscitation Council, Australian and New Zealand Council on Resuscitation, Heart and Stroke Foundation of Canada, Inter-American Heart Foundation, Resuscitation Council of Southern Africa, Resuscitation Council of Asia). *Resuscitation* 144:166–177
 312. Chalmers I, Glasziou P (2009) Avoidable waste in the production and reporting of research evidence. *Lancet* 374:86–89
 313. Haywood K, Whitehead L, Nadkarni VM et al (2018) COSCA (core outcome set for cardiac arrest) in adults: an advisory statement from the international liaison committee on resuscitation. *Resuscitation* 127:147–163
 314. Clarke M (2007) Standardising outcomes for clinical trials and systematic reviews. *Trials* 8:39
 315. Williamson PR, Altman DG, Blazeby JM et al (2012) Developing core outcome sets for clinical trials: issues to consider. *Trials* 13:132
 316. Tiainen M, Vaahersalo J, Skrifvars MB, Hästbacka J, Grönlund J, Pettilä V (2018) Surviving out-of-hospital cardiac arrest: the neurological and functional outcome and health-related quality of life one year later. *Resuscitation* 129:19–23
 317. Bohm M, Lilja G, Finnbogadottir H et al (2019) Detailed analysis of health-related quality of life after out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 135:197–204
 318. Calvert M, Kyte D, Mercieca-Bebber R et al (2018) Guidelines for inclusion of patient-reported outcomes in clinical trial protocols: the SPIRIT-PRO extension. *JAMA* 319:483–494
 319. Andrew E, Mercier E, Nehme Z, Bernard S, Smith K (2018) Long-term functional recovery and health-related quality of life of elderly out-of-hospital cardiac arrest survivors. *Resuscitation* 126:118–124
 320. Caro-Codón J, Rey JR, Lopez-de-Sa E et al (2018) Long-term neurological outcomes in out-of-hospital cardiac arrest patients treated with targeted-temperature management. *Resuscitation* 133:33–39
 321. Nehme Z, Andrew E, Bernard S, Smith K (2019) Sex differences in the quality-of-life and functional outcome of cardiac arrest survivors. *Resuscitation* 137:21–28
 322. Grasner JT, Lefering R, Koster RW et al (2016) EuReCa ONE-27 Nations, ONE Europe, ONE Registry: a prospective one month analysis of out-of-hospital cardiac arrest outcomes in 27 countries in Europe. *Resuscitation* 105:188–195
 323. Okubo M, Schmicker RH, Wallace DJ et al (2018) Variation in survival after out-of-hospital cardiac arrest between emergency medical services agencies. *JAMA Cardiol* 3:989–999
 324. Kiguchi T, Okubo M, Nishiyama C et al (2020) Out-of-hospital cardiac arrest across the World: first report from the International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR). *Resuscitation* 152:39–49
 325. Mentzelopoulos SD, Mantzanas M, van Belle G, Nichol G (2015) Evolution of European Union legislation on emergency research. *Resuscitation* 91:84–91
 326. Perkins GD, Ji C, Deakin CD et al (2018) A randomized trial of epinephrine in out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 379:711–721
 327. Mentzelopoulos SD, Bossaert L, Raffay V et al (2016) A survey of key opinion leaders on ethical resuscitation practices in 31 European countries. *Resuscitation* 100:11–17
 328. Perkins GD, Bossaert L, Nolan J et al (2013) Proposed revisions to the EU clinical trials direc- tive—comments from the European Resuscitation Council. *Resuscitation* 84:263–264
 329. Lascarrou JB, Merdji H, Le Gouge A et al (2019) Targeted temperature management for cardiac arrest with nonshockable rhythm. *N Engl J Med* 381:2327–2337
 330. CRASH Trial Management Group (2004) Research in emergency situations: with or without relatives consent. *Emerg Med J* 21:703
 331. Booth MG (2007) Informed consent in emergency research: a contradiction in terms. *Sci Eng Ethics* 13:351–359
 332. Kompanje EJ, Maas AI, Menon DK, Kesecioglu J (2014) Medical research in emergency research in the European Union member states: tensions between theory and practice. *Intensive Care Med* 40:496–503
 333. Lecouturier J, Rodgers H, Ford GA et al (2008) Clinical research without consent in adults in the emergency setting: a review of patient and public views. *BMC Med Ethics* 9:9
 334. Kamarainen A, Silfvast T, Saarinen S, Virta J, Virkkunen I (2012) Conduct of emergency research in patients unable to give consent—experiences and perceptions of patients, their consent providing next of kin, and treating physicians following a prehospital resuscitation trial. *Resuscitation* 83:81–85
 335. Roberts I, Prieto-Merino D, Shakur H, Chalmers I, Nicholl J (2011) Effect of consent rituals on mortality in emergency care research. *Lancet* 377:1071–1072
 336. Biros MH, Sargent C, Miller K (2009) Community attitudes towards emergency research and exception from informed consent. *Resuscitation* 80:1382–1387
 337. Goldstein JN, Espinola JA, Fisher J, Pallin DJ, Camargo CA (2010) Public opinion of a stroke clinical trial using exception from informed consent. *Int J Emerg Med* 3:385–389
 338. Burns KE, Magyarody NM, Duffett M, Nisenbaum R, Cook DJ (2011) Attitudes of the general public toward alternative consent models. *Am J Crit Care* 20:75–83
 339. Silbergleit J, Biros MH, Harney D, Dickert N, Baren J (2012) Implementation of the exception from informed consent regulations in a large multicenter emergency clinical trials network: the RAMPART experience. *Acad Emerg Med* 19:448–454
 340. Nelson MJ, Deiorio NM, Schmidt TA, Zive DM, Griffiths D, Newgard CD (2013) Why persons choose to opt out of an informed consent cardiac arrest trial. *Resuscitation* 84:825–830
 341. Dickert NW, Mah VA, Biros MH et al (2014) Consulting communities when patients cannot consent: a multicenter study of community consultation for research in emergency settings. *Crit Care Med* 42:272–280
 342. Callaway CW (2014) Studying community consultation in exception from informed consent trials. *Crit Care Med* 42:451–453
 343. Fehr AE, Pentz RD, Dickert NW (2015) Learning from experience: a systematic review of community consultation acceptance data. *Ann Emerg Med* 65:162–171.e3
 344. Stergiopoulos S, Michaels DL, Kunz BL, Getz KA (2020) Measuring the impact of patient engagement and patient centricity in clinical research and development. *Ther Innov Regul Sci* 54:103–116
 345. D'Souza R, Hall C, Sermer M, Siu S, Silversides C (2020) Development of a core outcome set for studies on cardiac disease in pregnancy (COSCarP): a study protocol. *Trials* 21:300

346. Ingoe HMA, Eardley W, Rangan A, Hewitt C, McDavid C (2020) An international multi-stakeholder delphi consensus exercise to develop a core outcomes set (COS) for surgical fixation of rib fractures. *Injury* 51:224–229
347. Webbe JWH, Duffy JMN, Afonso E et al (2020) Core outcomes in neonatology: development of a core outcome set for neonatal research. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 105:425–431
348. Vat LE, Finlay T, Schuitmaker-Warnaar TJ et al (2020) Evaluating the “return on patient engagement initiatives” in medicines research and development: a literature review. *Health Expect* 23:5–18
349. Koffman J, Yorganci E, Murtagh F et al (2019) The AMBER care bundle for hospital inpatients with uncertain recovery nearing the end of life: the ImproveCare feasibility cluster RCT. *Health Technol Assess* 23:1–150
350. Ngaage D, Mitchell N, Dean A et al (2019) Feasibility study of early outpatient review and early cardiac rehabilitation after cardiac surgery: mixed-methods research design—a study protocol. *BMJ Open* 9:e35787
351. Rapport F, Auton E, Warren C, Braithwaite J (2019) Addressing clinical equipoise for hearing devices: the qualitative COACH (q-COACH) study protocol for Australian stakeholder involvement in the design of a randomised controlled trial. *BMJ Open* 9:e30100
352. Lewis RK (2019) Mental health strategies for prevention and intervention: community perspectives. *J Prev Interv Community*. <https://doi.org/10.1080/10852352.2019.1654261>
353. Sanders AB, Hiller K, Duldner J (2005) Researchers’ understanding of the federal guidelines for waiver of and exception from informed consent. *Acad Emerg Med* 12:1045–1049
354. Kowey P, Ornato J (2000) Resuscitation research and emergency waiver of informed consent. *Resuscitation* 47:307–310
355. Sayre MR, White LJ, Brown LH, McHenry SD, National EMS Research Agenda Writing Team (2002) The National EMS Research Agenda executive summary. *Emergency medical services. Ann Emerg Med* 40:636–643
356. Hsieh M, Dailey MW, Callaway CW (2001) Surrogate consent by family members for out-of-hospital cardiac arrest research. *Acad Emerg Med* 8:851–853
357. McClure KB, Delorio NM, Gunnels MD, Ochsner MJ, Biros MH, Schmidt TA (2003) Attitudes of emergency department patients and visitors regarding emergency exception from informed consent in resuscitation research, community consultation, and public notification. *Acad Emerg Med* 10:352–359
358. Nichol G, Steen P, Herlitz J et al (2005) International Resuscitation Network Registry: design, rationale and preliminary results. *Resuscitation* 65:265–277
359. Hartmann M, Hartmann-Vareilles F (2006) The clinical trials directive: How is it affecting Europe’s noncommercial research? *PLoS Clin Trials* 1:e13
360. McMahon AD, Conway DJ, Macdonald TM, McInnes GT (2009) The unintended consequences of clinical trials regulations. *PLoS Med* 3:e1000131
361. Bosch X (2005) Europe’s restrictive rules strangling clinical research. *Nat Med* 11:1260
362. Liddell K, Kompanje EJ, Lemaire F et al (2006) Recommendations in relation to the EU clinical trials directive and medical research involving incapacitated adults. *Wien Klin Wochenschr* 118:183–191
363. Tolle SW, Teno JM (2017) Lessons from Oregon in embracing complexity in end-of-life care. *N Engl J Med* 376:1078–1082
364. Grasner JT, Masterson S (2015) EuReCa and international resuscitation registries. *Curr Opin Crit Care* 21:215–219
365. Girotra S, Nallamothu BK, Spertus JA et al (2012) Trends in survival after in-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 367:1912–1920
366. Merchant RM, Berg RA, Yang L et al (2014) Hospital variation in survival after in-hospital cardiac arrest. *J Am Heart Assoc* 3:e400
367. Hagihara A, Hasegawa M, Abe T, Nagata T, Wakata Y, Miyazaki S (2012) Prehospital epinephrine use and survival among patients with out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA* 307:1161–1168
368. Nakahara S, Tomio J, Takahashi H et al (2013) Evaluation of pre-hospital administration of adrenaline (epinephrine) by emergency medical services for patients with out of hospital cardiac arrest in Japan: controlled propensity matched retrospective cohort study. *BMJ* 347:f6829
369. Donnino MW, Saliccioli JD, Howell MD et al (2014) Time to administration of epinephrine and outcome after in-hospital cardiac arrest with non-shockable rhythms: retrospective analysis of large in-hospital data registry. *BMJ* 348:g3028
370. Bak MAR, Blom MT, Tan HL, Willems DL (2018) Ethical aspects of sudden cardiac arrest research using observational data: a narrative review. *Crit Care* 22:212
371. Mumma BE, Diercks DB, Danielsen B, Holmes JF (2015) Probabilistic linkage of prehospital and outcomes data in out-of-hospital cardiac arrest. *Prehosp Emerg Care* 19:358–364
372. Priori SG (2014) Genetic testing to predict sudden cardiac death: current perspectives and future goals. *Indian Heart J* 66(Suppl 1):S58–S60
373. Docherty AB, Lone NI (2015) Exploiting big data for critical care research. *Curr Opin Crit Care* 21:467–472
374. Pullman D, Hodgkinson K (2006) Genetic knowledge and moral responsibility: ambiguity at the interface of genetic research and clinical practice. *Clin Genet* 69:199–203
375. Badcock D, Kelly AM, Kerr D, Reade T (2005) The quality of medical record review studies in the international emergency medicine literature. *Ann Emerg Med* 45:444–447
376. Kaji AH, Schriger D, Green S (2014) Looking through the retrospectroscope: reducing bias in emergency medicine chart review studies. *Ann Emerg Med* 64:292–298
377. Nishiyama C, Brown SP, May S et al (2014) Apples to apples or apples to oranges? International variation in reporting of process and outcome of care for out-of-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 85:1599–1609
378. Manrai AK, Funke BH, Rehm HL et al (2016) Genetic misdiagnoses and the potential for health disparities. *N Engl J Med* 375:655–665
379. Tu JV, Willison DJ, Silver FL et al (2004) Impracticability of informed consent in the Registry of the Canadian Stroke Network. *N Engl J Med* 350:1414–1421
380. Freeman BD, Bolcic-Jankovic D, Kennedy CR et al (2016) Perspectives of decisional surrogates and patients regarding critical illness genetic research. *AJOB Empir Bioeth* 7:39–47
381. Offerman SR, Nishijima DK, Ballard DW, Chetipally UK, Vinson DR, Holmes JF (2013) The use of delayed telephone informed consent for observational emergency medicine research is ethical and effective. *Acad Emerg Med* 20:403–407
382. Fox EE, Bulger EM, Dickerson AS et al (2013) Waiver of consent in noninterventive, observational emergency research: the PROMMTT experience. *J Trauma Acute Care Surg* 75:53–58
383. Fang J, Kapral MK, Richards J, Robertson A, Stampelcoski M, Silver FL (2011) The Registry of Canadian Stroke Network: an evolving methodology. *Acta Neurol Taiwan* 20:77–84
384. Thorogood A, Zawati MH (2015) International guidelines for privacy in genomic biobanking (or the unexpected virtue of pluralism). *J Law Med Ethics* 43:690–702
385. Auffray C, Balling R, Barros I et al (2016) Making sense of big data in health research: towards an EU action plan. *Genome Med* 8:71
386. Bodenheimer T (2000) Uneasy alliance—clinical investigators and the pharmaceutical industry. *N Engl J Med* 342:1539–1544
387. Moorthy VS, Karam G, Vannice KS, Kiely MP (2015) Rationale for WHO’s new position calling for prompt reporting and public disclosure of interventional clinical trial results. *PLoS Med* 12:e1001819
388. Kiley R, Peatfield T, Hansen J, Reddington F (2017) Data sharing from clinical trials—a research funder’s perspective. *N Engl J Med* 377:1990–1992
389. Ornato JP, Becker LB, Weisfeldt ML, Wright BA (2010) Cardiac arrest and resuscitation: an opportunity to align research prioritization and public health need. *Circulation* 122:1876–1879
390. Kudenchuk PJ, Brown SP, Daya M et al (2016) Amiodarone, lidocaine, or placebo in out-of-hospital cardiac arrest. *N Engl J Med* 374:1711–1722
391. Tierney WM, Meslin EM, Kroenke K (2016) Industry support of medical research: important opportunity or treacherous pitfall? *J Gen Intern Med* 31:228–233
392. Ong MEH, Perkins GD, Cariou A (2018) Out-of-hospital cardiac arrest: prehospital management. *Lancet* 391:980–988
393. Chan PS, Berg RA, Nadkarni VM (2020) Code blue during the COVID-19 pandemic. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 13:e6779
394. Kramer DB, Lo B, Dickert NW (2020) CPR in the Covid-19 era—an ethical framework. *N Engl J Med* 383:e6
395. Mahase E, Kmietowicz Z (2020) Covid-19: doctors are told not to perform CPR on patients in cardiac arrest. *BMJ* 368:m1282
396. Shao F, Xu S, Ma X et al (2020) In-hospital cardiac arrest outcomes among patients with COVID-19 pneumonia in Wuhan, China. *Resuscitation* 151:18–23
397. Baldi E, Sechi GM, Mare C et al (2020) Out-of-hospital cardiac arrest during the Covid-19 outbreak in Italy. *N Engl J Med* 383:496–498
398. Van de Voorde P, Bossaert L, Mentzelopoulos S et al (2020) Ethics of resuscitation and end-of-life decisions. *Notfall Rettungsmed* 23:263–267
399. Docherty AB, Harrison EM, Green CA et al (2020) Features of 20 133 UK patients in hospital with covid-19 using the ISARIC WHO Clinical Characterisation Protocol: prospective observational cohort study. *BMJ* 369:m1985
400. Grasselli G, Pesenti A, Cecconi M (2018) Critical care utilization for the COVID-19 outbreak in Lombardy, Italy: early experience and forecast during an emergency response. *JAMA* 323:1545–1546
401. Kandori K, Narumiya H, Iizuka R (2020) Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation should not be performed on confirmed or suspected COVID-19 patients. *Resuscitation* 153:6–7
402. Concato J, Shah N, Horwitz RJ (2000) Randomized, controlled trials, observational studies, and the

-
- hierarchy of research designs. *N Engl J Med* 342:1887–1892
403. Barnish MS, Turner S (2017) The value of pragmatic and observational studies in health care and public health. *Pragmat Obs Res* 8:49–55
404. Howes C (2015) Caring until the end: a systematic literature review exploring paediatric intensive care unit end-of-life care. *Nurs Crit Care* 20:41–51
405. Michalsen A, Long AC, DeKeyser Ganz F et al (2019) Interprofessional shared decision-making in the ICU: a systematic review and recommendations from an expert panel. *Crit Care Med* 47:1258–1266
406. Hawkes CA, Fritz Z, Deas G et al (2020) Development of the recommended summary plan for emergency care and treatment (ReSPECT). *Resuscitation* 148:98–107
407. Taylor J, Booth A, Beresford B, Phillips B, Wright K, Fraser L (2020) Specialist paediatric palliative care for children and young people with cancer: a mixed-methods systematic review. *Palliat Med* 34:731–775

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:750–772
<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00890-0>
 Angenommen: 19. April 2021
 Online publiziert: 2. Juni 2021
 © European Resuscitation Council (ERC),
 German Resuscitation Council (GRC), Austrian
 Resuscitation Council (ARC) 2021



Robert Greif^{1,2} · Andrew Lockey³ · Jan Breckwoldt⁴ · Francesc Carmona⁵ ·
 Patricia Conaghan⁶ · Artem Kuzovlev⁷ · Lucas Pflanzl-Knizacek⁸ · Ferenc Sari⁹ ·
 Salma Shammet¹⁰ · Andrea Scapigliati¹¹ · Nigel Turner¹² · Joyce Yeung¹³ ·
 Koenraad G. Monsieurs¹⁴

¹ Department of Anaesthesiology and Pain Medicine, Bern University Hospital, University of Bern, Bern, Schweiz

² School of Medicine, Sigmund Freud University Vienna, Wien, Österreich

³ Emergency Department, Calderdale Royal Hospital, Halifax, Großbritannien

⁴ Institute of Anesthesiology, University Hospital Zurich, Zürich, Schweiz

⁵ Sistema d'Emergències Mèdiques. Barcelona, Barcelona, Spanien

⁶ Faculty of Biology, Medicine and Health, The University of Manchester, Manchester, Großbritannien

⁷ Negovsky Research Institute of General Reanimatology of the Federal research and clinical center of intensive care medicine and Rehabilitology, Moskau, Russland

⁸ Klinische Abteilung für Endokrinologie und Diabetologie, Universitätsklinik für Innere Medizin, Medizinische Universität Graz, Graz, Österreich

⁹ Emergency Department, Skellefteå Hospital, Skellefteå, Schweden

¹⁰ Medical College, Karary University, Khartoum, Sudan

¹¹ Institute of Anaesthesia and Intensive Care, Catholic University of the Sacred Heart, Fondazione Policlinico Universitario A. Gemelli, IRCCS, Rom, Italien

¹² Department of Pediatric Anesthesia, Division of Vital Functions, Wilhelmina Children's Hospital at the University Medical Center, Utrecht, Niederlande

¹³ Warwick Clinical Trials Unit, Warwick Medical School, University of Warwick, Coventry, Großbritannien

¹⁴ Emergency Department, Antwerp University Hospital and University of Antwerp, Edegem, Belgien

Lehre in der Reanimation

Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Einführung

Dieses Kapitel bietet Bürgern und Angehörigen der Gesundheitsberufe evidenzbasierte Anleitungen zum Lehren und Lernen der Kenntnisse, der Fertigkeiten und der Einstellungen zur Reanimation mit dem Ziel, das Überleben von Patienten nach Kreislaufstillstand zu verbessern. Die Leitlinien befassen sich mit der zweiten Schlüsselkomponente der Utstein-Überlebensformel, nämlich der „Effizienz der Lehre“ (Abb. 1; [1]).

Die Leitlinien wurden mit dem generischen Maskulin übersetzt. Bitte beachten Sie, dass alle Personenbezeichnungen gleichermaßen für beide Geschlechter gelten.

Die Übersetzung beruht auf der Version vom 29.01.2021. Bis zur Publikation des englischen Originals in *Resuscitation* wurden in manchen Kapiteln Literaturstellen korrigiert oder andere Änderungen vorgenommen, die den Sinn nicht wesentlich ändern.

Da edukative Ansätze die kritische Verbindung zwischen wissenschaftlichen Erkenntnissen und ihrer Umsetzung in die Praxis darstellen, werden einzelne Abschnitte der Lehre in der Reanimation auf der Grundlage dieser ursprünglichen Überlebensformel detaillierter dargestellt (Abb. 2). Lehrinterventionen in der Reanimation können durch das Einbeziehen von edukativer Theorie verbessert werden. Dieses Kapitel befasst sich mit der Lehre in der Reanimation in allen Bereichen, von BLS (lebensrettende Basismaßnahmen) bis ALS (erweiterte lebensrettende Maßnahmen) und für jedes Alter der Lernenden, wie auch für jedes Alter von Betroffenen eines Kreislaufstillstands. Weiter zielen diese Leitlinien auf Interessensgruppen (Stakeholder) in staatlichen und politischen Einrichtungen (Gesundheitswesen, Bildung usw.), die nationale und/oder regionale Ge-

sundheitssysteme verwalten und leiten, ab.

Die Grundprinzipien der medizinischen Lehre, die in den ERC-Kursen verwendet werden, umfassen Lerntheorien und Lehrstrategien und bilden den Rahmen für unterschiedliche Lernende und verschiedene Herangehensweisen im Reanimationsunterricht. Diese Leitlinie befasst sich mit dem Unterrichten verschiedener Zielgruppen sowie mit dem Erlernen der Fertigkeiten qualitativ hochwertiger Reanimationsmaßnahmen. In den letzten Jahren haben technologische Entwicklungen und Simulation in der Reanimation zunehmend an Bedeutung gewonnen und die Art und Weise der ERC-Kurse verändert. In diesem Kapitel wird daher die Weiterentwicklung der Instruktoren (Faculty) hervorgehoben, die von jeder Lehrinstitution umgesetzt werden muss. Am Ende des Kapitels wird ein Blick auf

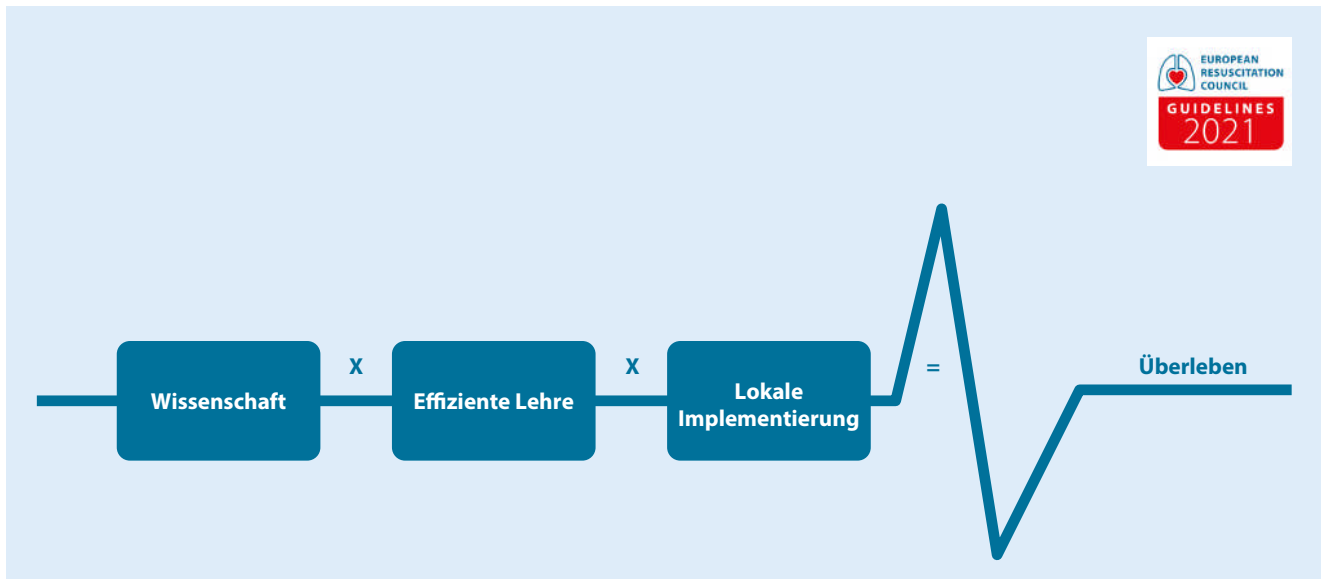


Abb. 1 ▲ Die Utstein-Überlebensformel

die Forschung im Bereich der Lehre in der Reanimation gegeben und zukünftige Forschungsthemen aufgezeigt. Eine Zusammenfassung der in diesem Kapitel vorgestellten edukativen Strategien ist in **Abb. 2** dargestellt. Die kürzlich veröffentlichten ERC-COVID-19-Leitlinien enthalten Empfehlungen für den Unterricht und die Gestaltung der ERC-Kurse während der Pandemie [2]. Die COVID-19-Leitlinien werden bei neuen Erkenntnissen und mit erweiterter Erfahrung aktualisiert. Diese Änderungen und Anleitungen zur Wiederaufnahme von ERC-Kursen sind über die ERC-Webseite (www.erc.edu) zugänglich.

In dieser Leitlinie wird der Begriff CPR für die spezifischen technischen Fertigkeiten der kardiopulmonalen Reanimation (z. B. Qualitätsmarker der CPR) verwendet. Reanimation wird als Oberbegriff für das breitere Spektrum von Fertigkeiten und Interventionen bei Patienten im Kreislaufstillstand verwendet. Der Begriff „Bystander“ oder Notfallzeuge wird verwendet, um Retter zu beschreiben, die zufällig vor Ort sind und möglicherweise Hilfe leisten. Der Begriff „First Responder“ (organisierte Ersthelfer) wird für diejenigen verwendet, die über zusätzliche Ausbildung verfügen und alarmiert werden, um vor Ort reanimieren zu können. Healthcare Professionals (HCP) sind Angehörige von Gesundheitsberufen in jedem Bereich

der Gesundheitsversorgung. Schließlich wird jeder Unterricht in Reanimation, welcher über BLS (definiert als das Initiieren der Überlebenskette, Thoraxkompression, Beatmung, Verwendung eines AED) hinausgeht, allgemein als erweiterte lebensrettende Maßnahmen (Advanced Life Support) bei Neugeborenen, Kindern und Erwachsenen beschrieben. Der Begriff „ALS“ wird nur für die ERC-Advanced-Life-Support-Kurse verwendet.

Diese Leitlinien wurden von den Mitgliedern der ERC Education Writing Group verfasst. Die für die Leitlinienentwicklung verwendete Methodik ist in der einführenden Zusammenfassung (Executive Summary) dargestellt. Die Leitlinien wurden im Oktober 2020 für Kommentare veröffentlicht. Das erhaltene Feedback wurde überprüft und die Leitlinien entsprechend aktualisiert. Die Leitlinie wurde der Generalversammlung des ERC am 10. Dezember 2020 vorgelegt und genehmigt.

Die zentralen Inhalte dieser Leitlinien sind in **Abb. 3** dargestellt.

Zusammenfassung der Leitlinie für die Unterrichtspraxis

Anwendung der Grundsätze der medizinischen Lehre auf die Reanimation

Der ERC als wissenschaftliche Organisation stützt seine Leitlinien auf aktuelle medizinische Erkenntnisse. Gleiches gilt für die ERC-Leitlinien zur Lehre in der Reanimation. Der ERC-Lehransatz kann in 4 Bereiche eingeteilt werden: 1) Ideen oder Theorien, wie wir lernen, 2) Forschung, die sich aus den genannten Ideen entwickelt und diese stimuliert, 3) Umsetzung der Ansätze, welche auf der Forschung beruhen, und 4) Auswirkungen und Ergebnis dieser edukativen Ansätze sowohl für das Lernen als auch für die klinische Praxis (**Abb. 3**).

Reanimationsunterricht für verschiedene Zielgruppen

Jeder Bürger soll die grundlegenden Fertigkeiten zur Lebensrettung erlernen. Personen mit einer besonderen Pflicht zur Hilfeleistung in Notfällen müssen entsprechend ihres Ausbildungsgrades nach den gültigen ERC-Leitlinien reanimieren können (von BLS bis zu den erweiterten lebensrettenden Maßnahmen bei Kindern und/oder Erwachsenen). Reanimationskompetenzen blei-

ben am besten erhalten, wenn Training und Wiederauffrischungen über längere Zeitperioden verteilt werden (nach zwei bis zwölf Monaten empfohlen). Für Angehörige von Gesundheitsberufen wird ein akkreditierter Kurs in den erweiterten lebensrettenden Maßnahmen sowie die Verwendung von Merkhilfen und Feedbackgeräten während des Reanimationsunterrichts empfohlen. Spezifische Schulungen für Teamleiter und deren Reanimationsteam sollen Bestandteil von Kursen in erweiterten lebensrettenden Maßnahmen sein. Ebenso soll datengestütztes, auf der erbrachten Leistung basierendes Debriefing vermittelt werden.

Wichtige Punkte des Reanimationsunterrichts für Notfallzeugen und First Responder sind:

- Steigerung der Bereitschaft zur Durchführung von Reanimation;
- Stärkung der Überlebenskette;
- Verwendung von Feedbackgeräten im Reanimationsunterricht;
- Verteilung einzelner Unterrichtseinheiten über die Zeit (mehrere Wochen oder Monate);
- Erhaltung der Reanimationskompetenzen durch häufige Wiederholungsschulungen.

Wichtige Punkte im Reanimationsunterricht von Angehörigen der Gesundheitsberufe sind:

- Unterricht aller Angehörigen von Gesundheitsberufen in hochqualitativer CPR (von BLS bis zu den erweiterten lebensrettenden Maßnahmen, bei Kindern und/oder Erwachsenen, angepasst an die besonderen Umstände des Arbeitsplatzes und der Patienten);
- Teilnahme an akkreditierten ALS-Kursen, welche Team- und Leadership-Training beinhaltet;
- Verwendung von Merkhilfen im Unterricht und in der klinischen Praxis;
- Erlernen und Durchführen von Nachbesprechungen in Form von Debriefings.

Der Unterricht von Reanimationsfertigkeiten auf hohem qualitativem Niveau

Die Vermittlung technischer Reanimationsfertigkeiten ist zentral, um Reanimationsmaßnahmen effektiv durchzuführen. Genauso wichtig ist die Vermittlung der menschlichen Faktoren („Human Factors“), wie zum Beispiel die Kommunikation und Zusammenarbeit im Team und mit verschiedenen Berufen sowie das Bewusstsein für kritische Situationen. Human Factors sind entscheidend für qualitativ hochwertige CPR und gute klinische Praxis. Das Unterrichten dieser Faktoren erhöht die Bereitschaft von geschulten Einsatzkräften, Betroffenen in lebensbedrohlichen Situationen zu helfen, verbessert die Einleitung der Überlebenskette durch den Start von BLS und gibt den Teilnehmern von CPR-Kursen das Vertrauen, bei Bedarf eine Reanimation durchzuführen.

Technologieunterstützter Unterricht in der Reanimation

Das Erlernen der Reanimation kann durch die Verwendung von Smartphones, Tablets usw. unter Mithilfe von Apps, sozialen Medien („Social Media“) und Feedback-Geräten unterstützt werden. Diese Lernmodalitäten können unabhängig vom Lehrenden sein. Sie können das Behalten der Kompetenzen verbessern und deren Beurteilung erleichtern. Gamified Learning (der Einbau von Spielmechanismen ins Lernen, wie z. B. Virtual und Augmented Reality, oder Apps, welche Monitore simulieren usw.) kann mehrere Lernende in den Unterricht einbeziehen. Die virtuelle Lernumgebung stellt das E-Learning als Teil des Blended-Learning-Ansatzes auch vor den Kursen zur Verfügung. Dies ermöglicht Optionen zum Selbstlernen unabhängig von Zeit und Ort und ist für alle CPR-Kurse anwendbar.

Simulation im Reanimationsunterricht

Simulation mit hoher und niedriger Realitätsnähe (High und Low Fidelity) erleichtert das Lernen im Kontext der

Notfall Rettungsmed 2021 · 24:750–772
<https://doi.org/10.1007/s10049-021-00890-0>
 © European Resuscitation Council (ERC),
 German Resuscitation Council (GRC),
 Austrian Resuscitation Council (ARC) 2021

R. Greif · A. Lockey · J. Breckwoldt ·
 F. Carmona · P. Conaghan · A. Kuzovlev ·
 L. Pflanzl-Knizacek · F. Sari · S. Shammet ·
 A. Scapigliati · N. Turner · J. Yeung ·
 K. G. Monsieurs

Lehre in der Reanimation. Leitlinien des European Resuscitation Council 2021

Zusammenfassung

Diese Leitlinien des European Resuscitation Council basieren auf dem internationalen wissenschaftlichen Konsens 2020 zur kardiopulmonalen Reanimation mit Behandlungsempfehlungen (International Liaison Committee on Resuscitation 2020 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations [ILCOR] 2020 CoSTR). Dieser Abschnitt bietet Bürgern und Angehörigen der Gesundheitsberufe Anleitungen zum Lehren und Lernen der Kenntnisse, der Fertigkeiten und der Einstellungen zur Reanimation mit dem Ziel, das Überleben von Patienten nach Kreislaufstillstand zu verbessern.

Schlüsselwörter

Reanimation · Lehre · Simulation · Aus- und Fortbildung der Instruktoren · Technologiegestütztes Lernen · Lebensrettende Basismaßnahmen und erweiterte lebensrettende Maßnahmen

Education for resuscitation. European Resuscitation Council Guidelines 2021

Abstract

These European Resuscitation Council education guidelines are based on the 2020 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendations. This section provides guidance to citizens and healthcare professionals with regard to teaching and learning the knowledge, skills and attitudes of resuscitation with the ultimate aim of improving patient survival after cardiac arrest.

Keywords

Resuscitation · Education · Simulation · Faculty development · Technology enhanced learning · Basic and advanced life support

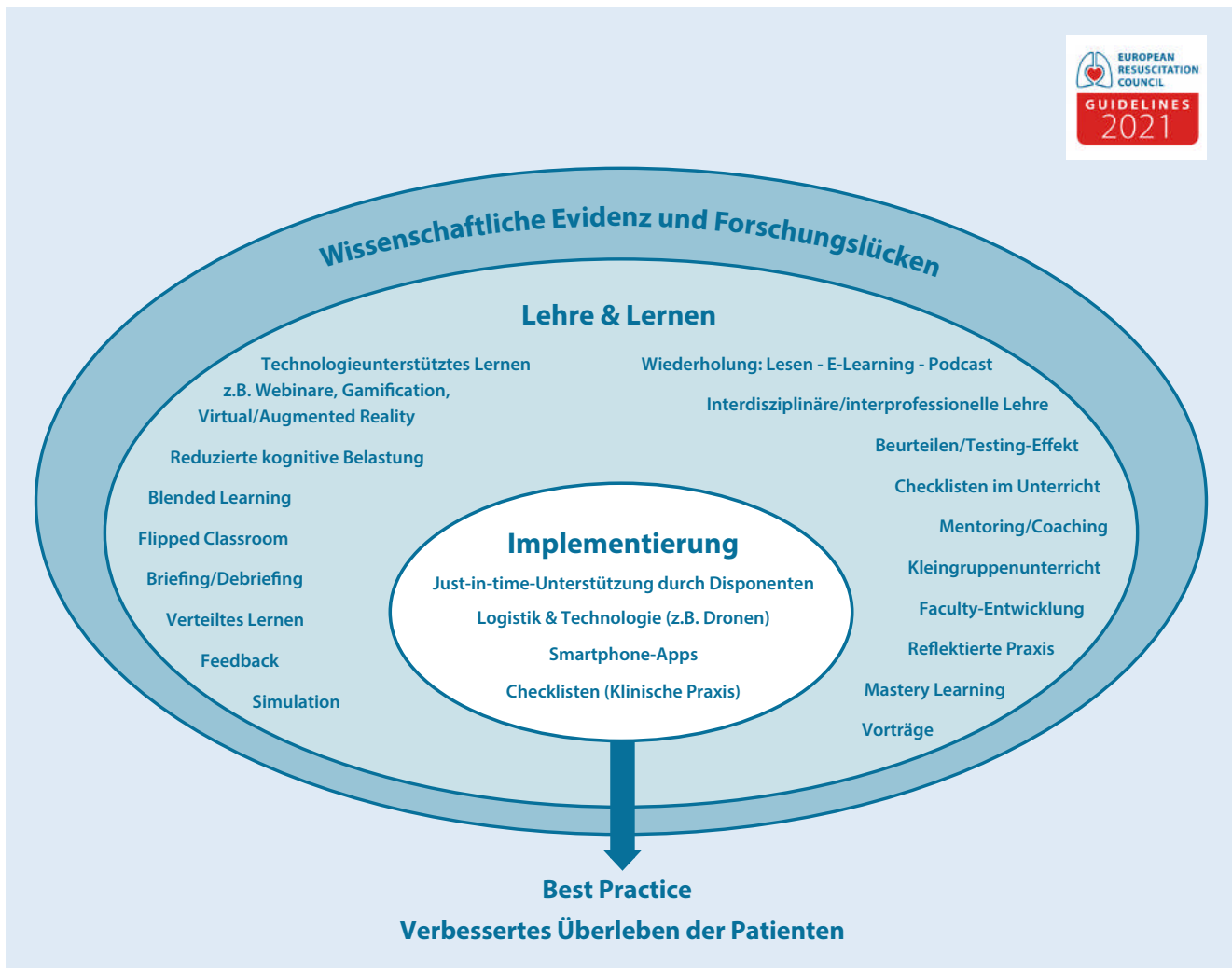


Abb. 2 ▲ Die Verknüpfung der Lehre mit der klinischen Praxis des ERC-Ansatzes führt zu verbessertem Überleben der Patienten

Reanimation für viele Kursteilnehmer. Simulation erlaubt die Integration technischer und nichttechnischer Fertigkeiten, berücksichtigt die Umgebung oder den Kontext bestimmter Lerngruppen sowie die unterschiedlichen Kompetenzniveaus. Daher bietet Simulation die Möglichkeit, mit Human Factors umzugehen und die Anwendung dieser in kritischen Situationen zu modifizieren. Spezifische Team- oder Leadership-Trainings sollen in den fortgeschrittenen Reanimationskursen mittels Simulation einbezogen werden. Während der Reflexionsphase im Debriefing nach der Simulation findet das eigentliche tiefgehende Lernen statt.

Faculty Development – Aus- und Fortbildung der Instruktoren in der Reanimation

In vielen Bereichen der Lehre hat die Qualität des Lehrpersonals großen Einfluss auf das Lernen. Dies kann durch Aus- und Fortbildung der Instruktoren weiter verbessert werden. Es gibt wenig Evidenz das solche Faculty-Development-Programme vor allem für Reanimationsunterrichte effektiv sind, daher werden viele Empfehlungen dazu aus anderen Bereichen extrapoliert. Es wird auf drei Aspekte solcher Programme eingegangen: die Auswahl geeigneter Instruktoren, die initiale Ausbildung der Instruktoren sowie das Aufrechterhalten der Fertigkeiten und die regelmäßige Aktualisierung ihrer Kompetenzen.

Der Effekt von Reanimationsunterricht auf das Outcome von Patienten

Die Teilnahme von Gesundheitspersonal an akkreditierten ALS-Kursen für Erwachsene und Neugeborene verbessert das Outcome von Patienten. Die Auswirkung anderer Reanimationskurse auf das Outcome von Patienten ist unklar, trotzdem ist es sinnvoll, solche akkreditierten Kurse zu empfehlen. Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um die tatsächlichen Auswirkungen auf das Outcome von Patienten zu quantifizieren.



Abb. 3 ▲ Infografik: Lehre der Reanimation

Forschungslücken und zukünftige Forschungsgebiete in der Reanimationslehre

Es fehlt an qualitativ hochwertiger Forschung in der Lehre der Reanimation, um zu zeigen, dass das Training die Prozessqualität (z. B. Kompressionsrate, Tiefe etc.) und das Outcome der Patienten (z. B. Rückkehr des spontanen Kreislaufs, Überleben bis zur Entlassung oder Überleben mit günstigem neurologischem Ergebnis) verbessern kann. Erfolgreiche Verbesserungsstrategien

aus der breit gestreuten Literatur der medizinischen Lehre sollen einbezogen werden, um die Effizienz der Reanimationslehre zu verbessern. An den Kontext der Lernenden angepasstes und somit maßgeschneidertes CPR-Training kann den Verlust von Reanimationskompetenzen hintanhalten. Somit besteht das Potenzial, dass CPR-Kurse weniger allgemein gehalten werden und mehr auf die individuellen Bedürfnisse des Lernenden eingegangen wird. Zukünftige Forschungsbereiche umfassen die Untersuchung der optimalen Ausbildung

und Unterstützung von CPR-Instruktoren und wie Reanimationsunterricht emotionale und psychische Traumata für den Retter reduzieren kann.

Evidenzbasierte Leitlinien

Die Grundsätze der medizinischen Lehre gelten für die Reanimation

Die Utstein-Überlebensformel der Reanimation legt Wert darauf, dass Instruktoren Lernerfahrungen schaffen, die es ermöglichen, qualitativ hochwertige Fertigkeiten, Kenntnisse und Einstellungen zu erlernen und diese auch über einen längeren Zeitraum zu behalten [1]. Die ERC-Leitlinie zur Lehre in der Reanimation verwendet einen Rahmen, der sich auf vier Komponenten stützt (Idee, Untersuchung, Implementierung, Auswirkung), um dieses Ziel zu erreichen.

1. Idee – Theorien, wie wir lernen

Viele edukative Theorien kommen aus der Soziologie, Psychologie, Anthropologie, den Neurowissenschaften und in jüngerer Zeit auch aus der Entwicklung neuer Technologien. Diese Theorien versuchen zu erklären, wie wir lernen und wie gelehrt werden soll [3]. Es gibt nicht die „eine“ Theorie, welche die vielen Aspekte der Lehre zusammenfasst. Es gibt jedoch Gemeinsamkeiten zwischen den Theorien, die in fünf Hauptparadigmen zusammengefasst werden können (Abb. 4).

- Behaviorismus (Verhalten) setzt voraus, dass die Lernenden wie ein leeres Blatt Papier sind und das Lernen als Reaktion auf die Anwendung eines Stimulus erfolgt. Das Lernen ist eine extern gesteuerte Aktivität, die zu einer Änderung des Verhaltens des Einzelnen führt. Lernen ergibt sich aus der wiederholten Anwendung des Stimulus oder einer Verstärkung, ob positiv oder negativ (Bestrafung oder Belohnung). Es gibt keine Berücksichtigung des mentalen Zustands oder der Fähigkeiten des Individuums. Ein Hauptvertreter des Behaviorismus ist B.F. Skinner [4].
- Der Kognitivismus (Lernen durch Einsicht und Erkenntnis) argumentiert, dass Lernen mehr als eine Reaktion auf einen Reiz ist, und



Abb. 4 ▲ Theoretische Ansätze zur Lehre in der Reanimation

konzentriert sich auf die mentalen Aktivitäten, die das Lernen ermöglichen. Dies regelt, wie Wissen empfangen, organisiert, gespeichert und abgerufen wird. Gedächtnis, Einstellungen und Überzeugungen spielen eine wichtige Rolle in der kognitiven Theorie. Nicht so sehr die Reaktion, sondern die interne Verarbeitung im Hirn steht im Mittelpunkt des Kognitivismus. Kognitivistische Ansätze betonen die Notwendigkeit, das Lernen sinnvoll zu gestalten und neues Wissen mit bereits vorhandenem Wissen in Beziehung zu setzen [5–7]. Die „Cognitive Load Theory“ (die kognitive Belastung beim Lernen) basiert darauf, wie wir verschiedene Arten von Wissen erwerben und speichern. Es wird unterschieden zwischen biologisch primärem Wissen (das wir entwickelt haben, um es zu lernen) und biologisch sekundärem Wissen (welches in jüngerer Zeit von der Gesellschaft aus kulturellen Gründen verlangt wird). Das sekundäre Wissen ist schwerer zu erwerben. Aufgrund der Art und Weise, wie Informationen verarbeitet werden, kann unser „Arbeitsspeicher“ überlastet werden. Das Design

von Lehreinheiten soll daher einbeziehen was an „kognitiver Belastung“ verarbeitbar und zu managen ist [8].

c. Der Konstruktivismus (Zusammenbauen) konzentriert sich auf die Erfahrung der Einzelnen mit der Welt und darauf, wie sie aus der Reflexion darüber eine Bedeutung aufbauen – konstruieren. Konstruktivismus erfordert reale Lebenserfahrungen, damit der Lernende neue Kompetenzen aufbauen kann, die auf seinen eigenen früheren Erfahrungen beruhen. Die Lernenden sind aktive Teilnehmer an ihrem Lernen. Ein Beispiel ist J.S. Bruners „Discovery Learning“ [9]. Die Lernenden werden in Problemlösungssituationen versetzt und müssen die Bedeutung konstruieren, indem sie auf ihre Erfahrungen und ihr Wissen aus der Vergangenheit zurückgreifen, um „Neues“ zu schaffen. L.S. Vygotsky argumentierte, dass der soziale Kontext, der den Lernenden umgibt, und die Interaktion mit anderen sich auf sein Lernen auswirkt [10]. Dieser „soziale Konstruktivismus“ ist der Schlüssel zu dem, was wir alleine lernen können und was wir lernen können, wenn wir von einem sachkundigen Partner

angeleitet und unterstützt werden. Der Unterschied zwischen beiden wird als „Zone der proximalen Entwicklung“ beschrieben. J.S. Bruner entwickelte Vygotskys Ideen weiter und beschrieb die Unterstützung und Hilfe des qualifizierten Partners als Gerüst, das ursprünglich dazu diente, den Lernenden durch die Zone der proximalen Entwicklung zu begleiten. Im Verlauf der Entwicklung des Lernenden zieht sich der „Partner“ allmählich zurück.

- d. Der Humanismus sieht Lernen als einen persönlichen Akt, um Verwirklichung zu erreichen. Die Lernenden stehen im Zentrum als gesamte Person. Es geht nicht nur um den Intellekt, sondern um personalisierte Bedürfnisse und den Weg zur Selbstverwirklichung. Die Würde und die Emotionen der Lernenden sollen mehr beachtet werden als der Intellekt [11, 12].
- e. Konnektivismus ist eine Lerntheorie des 21. Jahrhunderts, basierend auf der Idee des Lernens durch Gemeinschaften und Netzwerke. Diese Theorie ist stark vom Aufstieg des Internets und der digitalen Plattformen beeinflusst und sieht im Lernen nicht mehr das Individuum, sondern die Verbindungen zur Technologie und den Anderen. Konnektivismus entfernt sich von der kognitiven Sichtweise der internen Verarbeitung und stützt sich stattdessen auf ein Netzwerk von Personen oder Technologien, um auf Wissen zuzugreifen, es abzurufen und es zu speichern [13]. ■ **Abb. 5.**

Die Anwendung dieser Theorien auf ERC-Kurse der erweiterten lebensrettenden Maßnahmen wurde in einer narrativen Übersichtarbeit beschrieben [14].

Neben diesen Theorien beschreiben drei Konzepte, wie Menschen lernen: Pädagogik, Andragogik und Heutagogik [15, 16]. Diese Konzepte konzentrieren sich auf die Beziehung zwischen Lernenden und Lehrenden, die als Kontinuum beschrieben wurde [17]:

- Pädagogik beinhaltet lehrerzentriertes Lernen: Die Lernenden sind

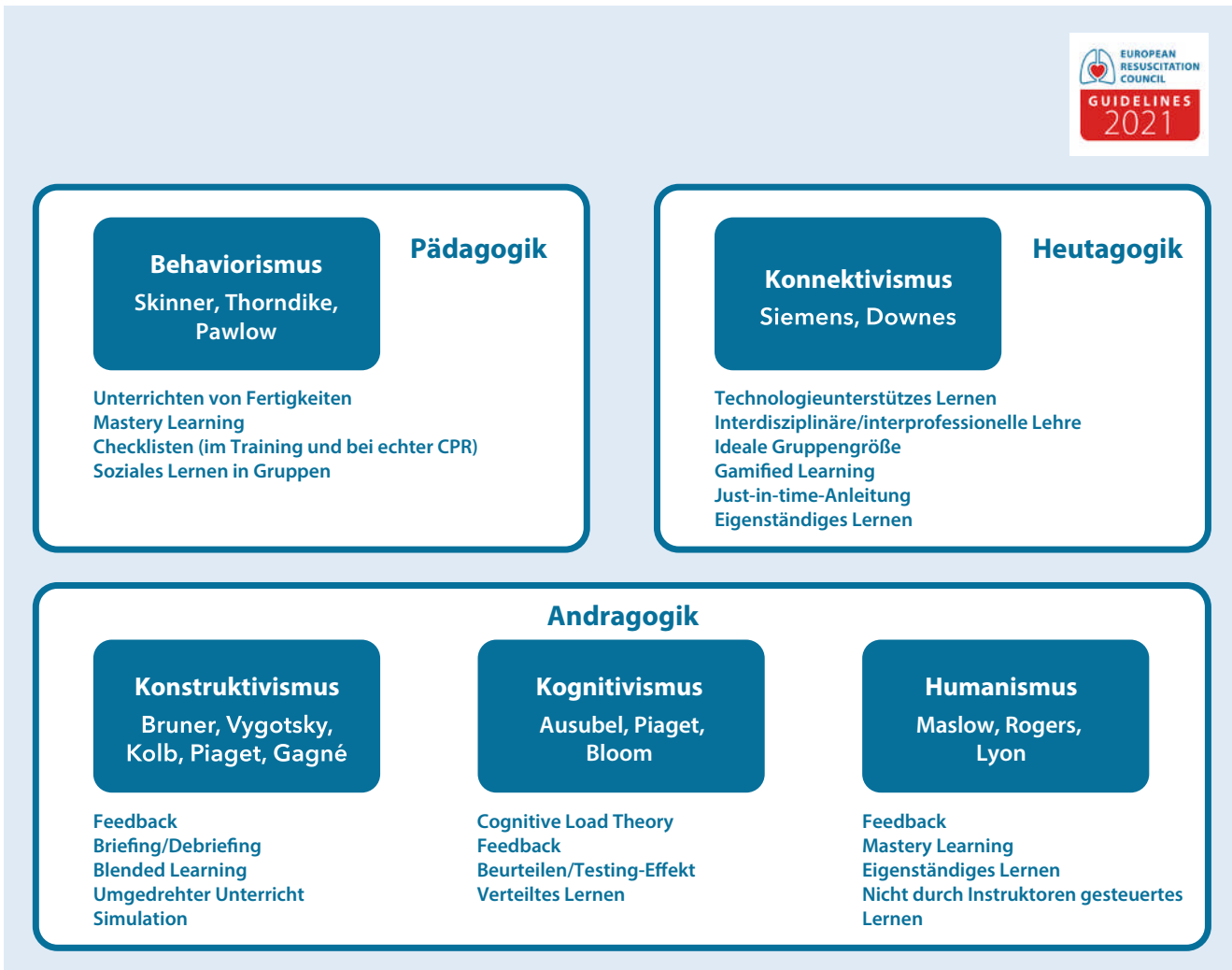


Abb. 5 ▲ Edukative Theorien und Ansätze

die Empfänger dessen, was gelernt werden soll.

- Andragogik beinhaltet lernerzentriertes Lernen: Lernende und Lehrer vereinbaren das zu Erlernende [18].
- Heutagogik bedeutet Selbstfindung und beinhaltet daher ein von Lernenden geführtes Lernen, das bestimmt, was sie lernen möchten [19].

Peer-to-Peer-Learning (Lernen von und mit Kollegen), welches auch als Paragogik bezeichnet wird, wurde in den letzten Jahren beschrieben [20]. Ursprünglich stammte die Peer-to-Peer-Lerntheorie aus der Online-Ausbildung von Konnektivistinnen und hat sich über das Online-Lernen hinaus zu jeglicher Peer-to-Peer-Lehre entwickelt, und somit auch erfolg-

reich im Reanimationsunterricht etabliert [21].

Der edukative Ansatz des ERC bewegt sich entlang dieses Kontinuums mit der Einführung der virtuellen Lernumgebung (CoSy – <https://cosy.erc.edu/>), den modular aufgebauten Kursen (Standardisierung vs. Individualisierung des CPR-Trainings), dem lebenslangen Lernen, dem Blended Learning und dem praktischen „Hands-on“-Präsenzunterricht in Kursen, den Feedbackmethoden und Debriefing zur Unterstützung des CPR-Unterrichts, dem Coaching und der Rezertifizierung. Der ERC bewegt sich, basierend auf Forschungsergebnissen, weg vom traditionellen Vortragsunterricht hin zum vernetzten Lernen, in dem die einzelnen Lernenden bestimmen, was, wann und wo sie lernen möchten.

2. Forschung, die sich aus den genannten Ideen entwickelt und diese stimuliert

Die ERC-Leitlinie der Lehre verwendet vorhandene Erkenntnisse aus der edukativen Forschung und richtet den edukativen Ansatz des ERC danach aus. Es ist wichtig, dass auch Aspekte der Lehre derselben akademisch-wissenschaftlichen Überprüfung unterzogen werden wie die klinisch-wissenschaftlichen Leitlinien. Diese Leitlinie basiert auf systematischen und narrativen Übersichtsarbeiten („Reviews“) der internationalen wissenschaftlichen Literatur und liefert die aktuellste und beste Grundlage für die Unterrichtspraxis. Weitere Informationen finden sich in der ILCOR-Veröffentlichung des 2020 Consensus of

Science with Treatment Recommendations (CoSTR) [22].

3. Implementierung der Lehrensätze basierend auf der Forschung

In dieser Leitlinie der Reanimationslehre werden eine Reihe von Ansätzen erörtert, die auf grundlegenden edukativen Theorien beruhen (■ Abb. 4). Einzelheiten über die Implementierung von Reanimationsmaßnahmen werden auch im Kapitel „Systems Saving Lives“ dieser ERC-Leitlinien ausführlicher behandelt [23].

4. Auswirkungen – Ergebnisse dieser Lehrensätze für das Lernen und die klinische Praxis

Untersuchungen haben gezeigt, dass fast jeder Lernansatz funktionieren kann [24]. Wichtig ist, nicht nur die Auswirkungen verschiedener Ansätze zu untersuchen, sondern auch den Einfluss, den jeder Ansatz auf einen anderen hat. J. Hattie verglich Lehre in der Medizin mit der klinischen Praxis, in der Therapien ständig überwacht werden, um deren Erfolge sicherzustellen. Somit kann adaptive professionelle Entscheidungsfindung auf Evidenz gestellt werden [24]. Nach einer Metaanalyse von 800 Studien identifizierte Hattie die zehn effektivsten Faktoren, die das Lernen beeinflussen: 1) Selbsteinschätzung (basierend auf Noten) der Lernenden, 2) formative Beurteilung, 3) Lehrende, die klar formulieren, 4) wechselseitiger Unterricht (bei dem Lernende in einer kleinen Gruppe zu Lehrenden werden – Peer Teaching), 5) Feedback, 6) die Beziehung zwischen Lehrenden und Lehrer, 7) metakognitive Strategien (um den Lernenden zu helfen, die Art und Weise zu verstehen, wie sie lernen), 8) Fakten selbst formulieren und selbst nachfragen, 9) berufliche Weiterentwicklung des Lehrenden und 10) Unterricht, welcher auf Problemlösungen basiert. Eine Folge ist, dass das Lernen sichtbar wird, wenn Lehrende das Lernen mit den Augen ihrer Lernenden sehen [25]. Die Lehrenden entwickeln eine Einstellung zum Unterricht als kooperativer und kritischer Planer, in Richtung zu einem Experten in adaptivem Lernen und

Empfänger von Feedback. Letztendlich besteht die Aufgabe der Lehrenden darin, ihre Auswirkungen auf das Lernen und ihre Lernenden zu kennen und ihnen dabei zu helfen, ihre eigenen Lehrer zu werden.

Reanimationsunterricht für verschiedene Zielgruppen

Anfänglich wurde CPR Angehörigen von Gesundheitsberufen und Ersthelfern wie Personal von Rettungsorganisationen beigebracht. In den letzten Jahren wurde die Bedeutung von Interventionen auf Systemebene deutlicher. Frühe Reanimationsinterventionen führten zur Steigerung des Überlebens nach Kreislaufstillstand. Dies führte zur Ausweitung des CPR-Unterrichts auf große Bevölkerungsgruppen, wie Kinder und ihre Lehrer, zufällige Notfallzeugen und letztendlich alle Bürger, sowie Programme für organisierte Ersthelfer (First Responder) bis hin zu Angehörigen von Gesundheitsberufen auf verschiedenen Interventionsebenen und Dienstverpflichtungen (z. B. Rettungsdienstpersonal und deren Disponenten, Krankenhauspersonal auf den Stationen, intensivmedizinisches Personal, Ärzte und Pflegepersonal in Notaufnahmen). Die spezifischen Bedürfnisse dieser Gruppen stellen ein Kontinuum dar, welches von den individuellen und organisatorischen CPR-Anforderungen abhängt. Das erforderliche Kompetenzniveau bestimmt auch das Trainingsintervall, die Häufigkeit, die Dauer und den Bedarf an Reanimationsschulungen sowie die erforderlichen Unterrichtsmittel und Bewertungsinstrumente dieser Kompetenzen.

Notfallzeugen und First Responder

Hauptziele der Reanimationsschulungen für Personen, welche nicht im Gesundheitswesen tätig sind (Kinder verschiedener Altersgruppen, Notfallzeugen, Ersthelfer usw.), sind die vermehrte Anwendung von BLS mit effektiver CPR und Anwendung eines AED sowie der rechtzeitige Notruf des organisierten Rettungsdiensts im Falle eines Kreislaufstillstands außerhalb des Krankenhauses. Die verbesserte Bereitschaft zur

Durchführung von CPR-Maßnahmen als Resultat von Reanimationsschulungen in diesen Bevölkerungsgruppen kann sich direkt auf die Überlebensraten nach Kreislaufstillstand außerhalb des Krankenhauses auswirken [22]. Ein weiterer wesentlicher Bestandteil der CPR-Schulungen von Laien ist das Erkennen des Kreislaufstillstands (keine Reaktion, keine normale Atmung), die Alarmierung des organisierten Rettungsdiensts und das Einleiten von BLS-Maßnahmen gemäß den ERC-Leitlinien 2021 [26].

Die im ILCOR CoSTR beschriebenen Ergebnisse legen nahe, dass die Verwendung von Feedbackgeräten von Vorteil sein kann (schwache Empfehlung, Evidenz von geringer Qualität). Diese Feedbackgeräte zeigen die Kompressionsrate und-tiefe sowie andere Qualitätsparameter während des CPR-Unterrichts an. Wenn solche Geräte nicht zur Verfügung stehen, kann ein Metronom oder ähnliches Gerät einschließlich Musik verwendet werden. Dies verbessert aber nur die Kompressionsrate [22]. Der ILCOR CoSTR zu „Spaced Learning“ (Unterricht verteilt über eine längere Zeit statt in einem Block) identifizierte 17 Studien (13 randomisierte Studien, 4 Kohortenstudien). Eine narrative Übersichtsarbeit dieser Ergebnisse zeigte, dass so verteiltes Lernen effektiver erscheint als zeitlich nahe beieinander liegender Unterricht (schwache Empfehlung, Evidenz von geringer Qualität) [22, 27]. Die Empfehlung für eine verstärkte Nutzung von verteiltem CPR-Unterricht gilt für alle Lernenden. Die systematische ILCOR Übersichtsarbeit zur Verwendung von Merkhilfen im CPR-Unterricht von Personen, welche keinem Gesundheitsberuf angehören, ergab unzureichende Daten eine Empfehlung auszusprechen [22]. Ebenso fand der ILCOR CoSTR unzureichende Evidenz für ein optimales Intervall oder eine optimale Methode für BLS-Auffrischkurse. Die BLS-Fertigkeiten nehmen innerhalb von 3 bis 12 Monaten nach der Grundschulung ab. Es gibt jedoch Hinweise, dass häufigeres (Re-)Training die CPR-Kompetenzen verbessert (schwache Empfehlung, Evidenz von sehr geringer Qualität), das Vertrauen der Retter in ihre Maßnah-

men steigert und die Bereitschaft, CPR durchzuführen, verbessert (schwache Empfehlung, Evidenz von sehr geringer Qualität) [22].

Das vom ERC initiierte Programm KIDS SAVE LIVES hat das strategische Ziel, möglichst viele Kinder weltweit, vor allem in den Schulen, in CPR auszubilden [28, 29]. Die CPR-Kompetenzen sollen an das Alter der Schüler angepasst werden (Vorschule bis zur Hochschulbildung) basierend auf den unterschiedlichen Voraussetzungen, um die Fertigkeiten zu erwerben und die dahinterliegende Theorie zu verstehen [30–34]. Schullehrer unterstützen solche BLS-Schulungen sehr, verfügen jedoch häufig nicht über ausreichende inhaltliche CPR-Kenntnisse [35, 36]. Sie müssen nur die spezifischen Kompetenzen der Reanimation erlernen, die sie anschließend ihren Schülern weitergeben, da sie bereits Experten im Unterrichten sind [37]. Es wird ausdrücklich empfohlen, einen solchen Reanimationsunterricht in die Lehrpläne der Lehrerbildung aufzunehmen [34]. Es gibt leider keine Evidenz, welche die effektivste Lehrstrategie für den Unterricht von Schulkindern ist [38]. Daher variiert das Format des CPR-Unterrichts je nach den örtlichen Anforderungen und Umständen. Ein Beispiel für einen erfolgreichen Ansatz beim Unterrichten von Schulkindern ist der Einsatz von Medizinstudenten als Lehrende solcher CPR-Schulungen. Dies ist sowohl für die Schüler als auch für die Medizinstudenten selbst sehr effektiv [39–41]. Die Medizinstudenten verbesserten ihre eigenen Reanimationskompetenzen. Sie lernten gleichzeitig, wie sie als zukünftige CPR-Instruktoren auftreten können, und verbesserten die CPR-Ausbildung im Umfeld ihrer Gemeinde.

Angehörige von Gesundheitsberufen auf den verschiedenen Einsatzebenen

Eine qualitativ hochwertige Reanimationsschulung für Angehörige der Gesundheitsberufe auf den verschiedenen Anforderungsniveaus ist obligatorisch. Vom BLS bis zu den erweiterten lebensrettenden Maßnahmen für Kinder und/oder Erwachsene, abhängig von deren Arbeitsplatzanforderungen. Die BLS-

Ausbildung für Angehörige von Gesundheitsberufen unterscheidet sich im Prinzip nicht vom Unterricht anderer Helfer. Besondere Umstände können den Standard-BLS-Kurs modifizieren und bestimmte notwendige Kompetenzen können hinzugefügt werden, wie z. B. Reanimation von Neugeborenen, COVID-19-Patienten, spezifische Erfordernisse von Spezialabteilungen eines Krankenhauses (Operationssäle usw.). Der 2020 ILCOR CoSTR fand, dass die Teilnahme von Mitgliedern eines Reanimationsteams an akkreditierten ALS-Kursen für Erwachsene das Outcome von Patienten verbessert, und spricht deshalb eine Empfehlung für solche Kurse aus (schwache Empfehlung, Evidenz mit sehr geringer Qualität) [22, 42]. Ein Evidenz-Update im ILCOR CoSTR unterstützt die Verwendung von Low-Fidelity-Reanimationspuppen (geringe Realitätsnähe) als akzeptabel für Standardreanimationsunterricht in den erweiterten lebensrettenden Maßnahmen und ALS-Kursen [22]. High-Fidelity-Puppen können auch für die Reanimationsschulungen verwendet werden, wenn die Infrastruktur, das geschulte Personal und die Ressourcen zur Aufrechterhaltung so eines Programms zur Verfügung stehen. Ein systematische Überlicksarbeit des ILCOR zur Integration von spezifischen Team- und Leadership-Trainings während ALS-Kursen legt nahe, dass diese durchgeführt werden sollen (schwache Empfehlung, Evidenz mit sehr geringer Qualität) [22]. Interessanterweise fand eine systematische ILCOR-Überlicksarbeit zur Verwendung von Merkhilfen keine Hinweise, dass deren Verwendung in der Reanimationsschulung von Notfallzeugen oder Ersthelfern sinnvoll ist. Es gab indirekte Hinweise aus der klinischen Versorgung von Traumapatienten und aus der Full-scale-Simulation, dass solche kognitiven Hilfsmittel (wie Checklisten, Flussdiagramme und Algorithmen oder Mnemonik) während der Reanimationsschulung von Angehörigen von Gesundheitsberufen verwendet werden sollen [22]. Eine schwache Empfehlung spricht das ILCOR im 2020 CoSTR für die Anwendung von datengestütztem, sich an der Leistung orientiertem Debriefing

nach jedem Reanimationseinsatz aus (Evidenz mit sehr geringer Qualität). Daher wird vorgeschlagen, dass solche Debriefings in die Schulungen der erweiterten lebensrettenden Maßnahmen für Angehörige von Gesundheitsberufen integriert werden müssen. Ein weiteres Lehrziel ist die Schulung zu Anwendung von klinischem Debriefing nach jeder Reanimation [22, 43].

Dispatcher(Disponenten)-Ausbildung, um qualitativ hochwertige CPR anzuleiten

Es ist nicht immer einfach, einen Kreislaufstillstand per Telefonanruf festzustellen. In etwa 70 % der Fälle identifizieren die Disponenten einen Kreislaufstillstand korrekt [44, 45]. Wenn die vermutete Diagnose eines Kreislaufstillstand falsch ist, können Patienten fälschlicherweise Thoraxkompression erhalten oder die Reanimation wird nicht gestartet [46]. Andere wichtige Herausforderungen für Disponenten sind das Identifizieren von agonaler Atmung [47] und die Frage, wie sie umstehende Personen dazu bringen können, Reanimationsmaßnahmen einzuleiten, und so die Zeit, bis effektive Thoraxkompression durchgeführt werden, verkürzen [44, 45]. Programme, welche die Qualität der telefongestützten CPR und das Feedback von Ärzten an Disponenten verbessern, haben das Überleben von Patienten nach Kreislaufstillstand verbessert [48]. Spezifische Schulungen der Disponenten in telefongestützter CPR können zu verbessertem Erkennen von Kreislaufstillstand, einer Verringerung der Fehlinterpretation von agonaler Atmung, einer erhöhten Thoraxkompressionsrate und kürzeren Zeit bis zur ersten Kompression führen [49]. Selbst kurze simulationsbasierte Trainingseinheiten können das Erkennen eines Kreislaufstillstand verbessern und rascher zum Starten von CPR beitragen [50].

Es gibt keine strukturierten Kurse zur Schulung von Disponenten. Rettungseinrichtungen unterrichten ihre Disponenten in der Regel über interne Schulungsprogramme. Es wird empfohlen, dass solche Schulungsprogramme für Disponenten die folgenden Aufgaben abdecken müssen: 1) Das Erkennen eines Kreis-

laufstillstands am Telefon, 2) wie die Bereitschaft von Helfenden, CPR durchzuführen, verbessert werden kann und Retter über Sicherheitsmaßnahmen informiert werden können, 3) Anweisungen zur Durchführung von CPR oder Thoraxkompression ohne Atemspende, 4) Retter darauf aufmerksam zu machen, wann ein AED verfügbar sein könnte, und wie ein AED anzuwenden ist, wenn dieser eintrifft, und 5) wie dem Rettungsdienst geholfen werden kann, den Ort, wo sich der Patient befindet, zu finden. Außerdem soll in solchen Schulungen die Durchführung eines Debriefings der Disponenten nach einer Telefon-CPR und das Feedback des Rettungspersonals, das am Einsatz teilnahm, einbezogen werden.

Der Unterricht von qualitativ hochwertigen Reanimationsmaßnahmen

Um das Überleben von Patienten nach einem Kreislaufstillstand zu verbessern, müssen wesentliche Kernkompetenzen der Reanimation definiert und erlernt werden. Die Lernziele für ALS-Unterricht beinhalten alle BLS-Kompetenzen. Diese werden aber um fortgeschrittene Kompetenzen wie Atemwegsmanagement und Gefäßzugang erweitert. In den letzten Jahren wurde die Bedeutung von Human Factors zunehmend erkannt.

Ziele des BLS-Unterrichts

Unabhängig vom Hintergrund des Retters (z. B. Notfallzeuge, First Responder, Angehörige der Gesundheitsberufe) muss der BLS-Unterricht effektive Thoraxkompressionen und die sichere Verwendung eines AED vermitteln. Im pädiatrischen BLS-Unterricht soll Beatmung zusammen mit Thoraxkompressionen vermittelt werden. Studien zeigen, dass Thoraxkompressionen schon von Kindern erlernt werden können, aber die Wirksamkeit von Thoraxkompressionen hängt vom Körpergewicht und den körperlichen Fähigkeiten ab, was beim Unterrichten von Kindern zu berücksichtigen ist [31, 32]. Es gibt Hinweise, dass die Verwendung von Feedbackgeräten während des CPR-Unterrichts die Qualität der Thoraxkompressionen wäh-

rend des Trainings verbessert [22], aber leider führt dies nicht zum verbesserten Überleben von Patienten [51]. Aufgrund ihres benutzerorientierten Designs kann auch ein nicht geschulter Helfer, einschließlich Kindern, die Anweisungen zur sicheren Verwendung eines AED befolgen [52]. Die Sicherheit der Retter ist ein wichtiger Punkt in jeder AED-Schulung.

Traditionell werden in BLS-Kursen Mund-zu-Mund/Nase- und Mund-zu-Maske-Beatmung unterrichtet. Die Beatmung der Lunge ist eine wichtige Fertigkeit, die insbesondere zur Reanimation von Kindern, beim Ertrinken oder Erstickten erlernt werden muss. Bei einigen Patienten (z. B. Infektionsrisiko) ist die Maskenbeatmung vorzuziehen, und diese Situation führt eine neue Fertigkeit ein, die von vielen Laien und den meisten Angehörigen von Gesundheitsberufen erlernt werden muss. Möglicherweise sind diese Helfer nicht so kompetent in Beutel-Maske-Beatmung wie Angehörige der Gesundheitsberufe, die in der täglichen klinischen Praxis so eine Beatmung durchführen. Es soll aber damit der Wert einer möglichen Belüftung der Lunge hervorgehoben werden, welche sicher besser ist als gar keine Möglichkeit zur Belüftung.

Die Durchführung einer Zwei-Personen-Maskenbeatmung, wobei eine Person die Maske mit beiden Händen hält (Zwei-Hand-Maskenbeatmung) und die andere Person den Beutel zusammendrückt, kann die Maske besser abdichten und so die Wahrscheinlichkeit einer wirksamen Beatmung mit Sauerstoff verbessern. Daher ist dies die empfohlene Technik [2, 53]. Es ist sinnvoll, Ersthelfern und Angehörigen der Gesundheitsberufe, die normalerweise BLS ausführen, diese relativ einfache Technik der Beatmung mit Beutel-Maske beizubringen, insbesondere wenn das Risiko einer Infektionsausbreitung besteht (z. B. während einer Pandemie). Im Gegensatz zur Mund-zu-Mund-Beatmung birgt das Üben der Beutel-Maske-Beatmung an der Puppe kein Infektionsrisiko. Lernende in BLS- und ALS-Kursen müssen verstehen, wie Verletzungen vermieden werden können und welche Maßnahmen zur Minimierung

des Infektionsrisikos angewendet werden sollen [2]. BLS-Kurse sollen auch unterrichten, wie effektiv mit den Rettungskräften und den Leitstellendisponenten kommuniziert werden kann, um die notwendigen Informationen bereitzustellen und unnötige Verzögerungen bei der Einleitung der Reanimationsmaßnahmen zu vermeiden. Laien und First Responder können Einblicke in die Durchführung einer strukturierten Übergabe vom organisierten Rettungsdienst und anderen Angehörigen der Gesundheitsberufe erhalten.

So ein Kommunikationsunterricht während eines BLS-Kurses kann Hindernisse überwinden, die Retter bei der Durchführung von CPR haben könnten [54]. Drei Haupthindernisse wurden beschrieben: 1) persönliche Faktoren (emotionelle Hindernisse, meistens „Panik“, aber auch sozioökonomische und physische Faktoren wie die „Fähigkeit, den Patienten auf den Rücken zu legen“); 2) CPR-Kenntnisse und Fertigungsdefizite, Angst Verletzungen zu verursachen oder etwas falsch zu machen; 3) Verfahrensfragen (Kommunikations- und Sprachbarrieren sowie Erkennung eines Kreislaufstillstands) [22, 55]. In einer narrativen Übersichtsarbeit wurden die folgenden Faktoren zur Erhöhung der Bereitschaft von Rettern zur Durchführung von CPR identifiziert: die Teilnahme an einem CPR-Training in der Vergangenheit, das Bewusstsein über CPR in der Gemeinschaft, Massentrainingsprogramme zur CPR mittels Thoraxkompression und CPR-geschulte Retter mit einem höheren Bildungsabschluss. Diese Arbeit untersuchte Faktoren, die sich nicht mit den Anweisungen von Disponenten, Gemeinschaftsinitiativen und Social-Media-Technologien auseinandersetzte. Mund-zu-Mund-Beatmung war für Notfallzeugen kein Hindernis für die Durchführung von CPR, obwohl diese Studie vor der COVID-19-Pandemie durchgeführt wurde [22]. Die Hindernisse und wie damit umgegangen werden kann im Unterricht anzusprechen, schafft die Möglichkeit, dass die CPR eher gestartet wird und sich die Bereitschaft erhöht, Menschen in einer lebensbedrohlichen Situation zu helfen. Der BLS-Unterricht spielt eine

wichtige fördernde Rolle, um möglichst viele Laien und Ersthelfer zu motivieren, an Projekten auf Gemeindeebene zur Verbesserung von Erster Hilfe in lebensbedrohlichen Situationen teilzunehmen (z. B. Erste-Hilfe-Programme, Ersthelfer- und First-Responder-Initiativen, öffentliche AED-Programme, CPR-Programme für Schulkinder etc.), welches in einer narrativen ILCOR Übersichtsarbeit beschrieben wurde [22, 56].

Die Dauer von BLS-Kursen ist umstritten. Es gibt keine evidenzbasierten Daten, welche Dauer von BLS-Kursen für alle Lernenden am besten geeignet ist. Die Dauer hängt von der Vorerfahrung und früheren CPR-Schulungen, den spezifischen Lernzielen für eine bestimmte Gruppe von Lernenden und lokalen, sozialen und kulturellen Bildungsfaktoren ab. Beispiele von BLS-Kursen reichen von sehr kurzen Einführungskursen bis zu zweistündigen Kursen, oft für Helfer mit Vorbildung, und traditionellen BLS-Kursen für Laien über 4 h [57, 58]. Die dazugehörige Theorie dieser Kurse kann im Rahmen des Blended-Learning-Ansatzes vorab online vermittelt werden, um die Präsenzzeit für praktische Schulungen zu verwenden.

Lernziele für ALS (erweiterte lebensrettende Maßnahmen)

Alle oben genannten BLS-Fertigkeiten sind ein integraler Bestandteil des Unterrichts in den erweiterten lebensrettenden Maßnahmen und müssen an die Zielgruppe der Patienten (z. B. Neugeborene, Kinder, Erwachsene, Traumapatienten) angepasst werden. Spezifische Lernziele für die erweiterten lebensrettenden Maßnahmen sind das Atemwegsmanagement, die manuelle Defibrillation, Gefäßzugänge, ein strukturierter Ansatz zur Behandlung kritisch kranker Patienten, das Management spezieller Reanimationssituationen sowie die Behandlung von Periarrest-Arrhythmien und die Behandlung von Patienten nach der Reanimation auf der Intensivstation (Post Resuscitation Care). Das Unterrichten dieser Kompetenzen kann je nach Beruf und den klinischen Aufgaben der Lernenden mehr Zeit beanspruchen. Der Unterricht muss an die Lernbedürfnisse und das Niveau früherer erlernter Kompetenzen an-

gepasst werden. Aus diesem Grund sind die ERC-ALS-Kurse modular aufgebaut, um auf die Bedürfnisse der Kursteilnehmer einzugehen.

Ein Spezifikum von ERC-ALS-Kursen ist das Einbeziehen von Leadership- und Teamschulungen und der Unterricht über die Bedeutung von Human Factors während der Reanimation [22, 59, 60]. Der Umgang mit menschlichen Faktoren während der Reanimation kann in szenarienbasierter Simulation vermittelt werden, in der die Bedeutung der Human Factors bezüglich Situationsbewusstsein, Team- und Aufgabenmanagement und Entscheidungsfindung reflektiert werden kann.

Es gibt keine Evidenz, wie diese nicht-technischen Fertigkeiten am besten vermittelt werden können. Der Unterricht soll lokale, soziale und kulturelle Faktoren sowie die vorhandenen Kompetenzen der ALS-Kursteilnehmer berücksichtigen. Briefing und Debriefing wurden in einer systematischen Überblicksarbeit im ILCOR 2020 CoSTR beschrieben; die Anwendung von unterstützendem, korrigierendem und konstruktivem Feedback während des ALS-Unterrichts ist empfohlen [22]. Aufgrund der sehr geringen Qualität der Evidenz wurde vom ILCOR eine schwache Empfehlung formuliert, ein datengestütztes, leistungsorientiertes Debriefing der Rettungskräfte nach jeder Reanimation innerhalb und außerhalb des Krankenhauses durchzuführen. Die Anwendung einer Closed-loop-Kommunikation im Team während der Schulungen ist eine geeignete Möglichkeit für die Lernenden, dies später in ihre klinische Praxis zu integrieren [61]. Die vermehrte Anwendung und Aufmerksamkeit auf Human Factors während der Patientenversorgung kann medizinische Fehler reduzieren und die Patientensicherheit erhöhen.

Wie kann man Fertigkeiten vermitteln?

Die Theorie in Bezug auf Reanimationsfertigkeiten kann auf unterschiedlichste Art und Weise erlernt werden. Dazu zählen beispielsweise das Lesen der Unterlagen, die Absolvierung von interaktiven E-Learning-Inhalten [62, 63] oder die Teilnahme an Workshops oder We-

binaren [64]. Blended Learning hat sich in Bezug auf den Reanimationsunterricht etabliert [65]. Im Unterrichten von Fertigkeiten hat sich kein spezifischer edukativer Ansatz als überlegen gegenüber einem anderen herausgestellt. Zu den einflussreichsten Faktoren in Bezug auf den Unterricht zählt die Auseinandersetzung des Instructors mit den Inhalten und den Lernenden sowie das Ausmaß an glaubwürdigem Feedback bezogen auf die Leistung [66]. Praxisbezogene Workshops zu CPR-Fertigkeiten mit Low- oder High-Fidelity-Reanimationspuppen, interaktives, videobasiertes und selbstgesteuertes Lernen („self-learning“) [67], E-Learning, szenariobasierte Simulation und Reflexion über die praktische Vorgehensweise anhand von Fallbesprechungen sind Möglichkeiten, diese Kompetenzen zu lehren und zu lernen. Die verschiedenen ERC-Kurse setzen das Konzept des Blended Learning, unter Einbeziehung all dieser unterschiedlichen edukativen Ansätze, in die Praxis um. Weitere Informationen finden sich auf der ERC-Website und in der virtuellen Lernumgebung des ERC, dem sogenannten CoSy („Course System“) (www.erc.edu oder <https://cosy.erc.edu/en/login>).

Die Simulation von Kreislaufstillständen ist eine geeignete Strategie für den Unterricht von Human Factors [68]. Instrukturen sollen die Bedeutung des Debriefings verstehen, da darin das Lernen anhand der Reflexion über die erlebte Erfahrung stattfindet. Gleichzeitig kann die Simulation von Kreislaufstillständen den Lernenden die Möglichkeit bieten, neue Strategien zu entwickeln und anzuwenden, um die zukünftige Leistung zu verbessern.

Traditionell wird Reanimation häufig als Unterricht oder Kurs an einem einzigen Zeitpunkt und ohne Unterbrechung veranstaltet. Dieses Konzept wird im Englischen als „massed learning“ bezeichnet [69]. Evidenz auf Basis eines ILCOR CoSTR weist darauf hin, dass verteiltes Lernen (Spaced Learning, Unterricht, welcher über die Zeit in verschiedene Einheiten verteilt wird) zur Verbesserung der Leistung von CPR-Fertigkeiten zwischen Kursabschluss und 1 Jahr nach Kursbeginn, im Vergleich zu „massed learning“, beitragen kann (sehr gerin-

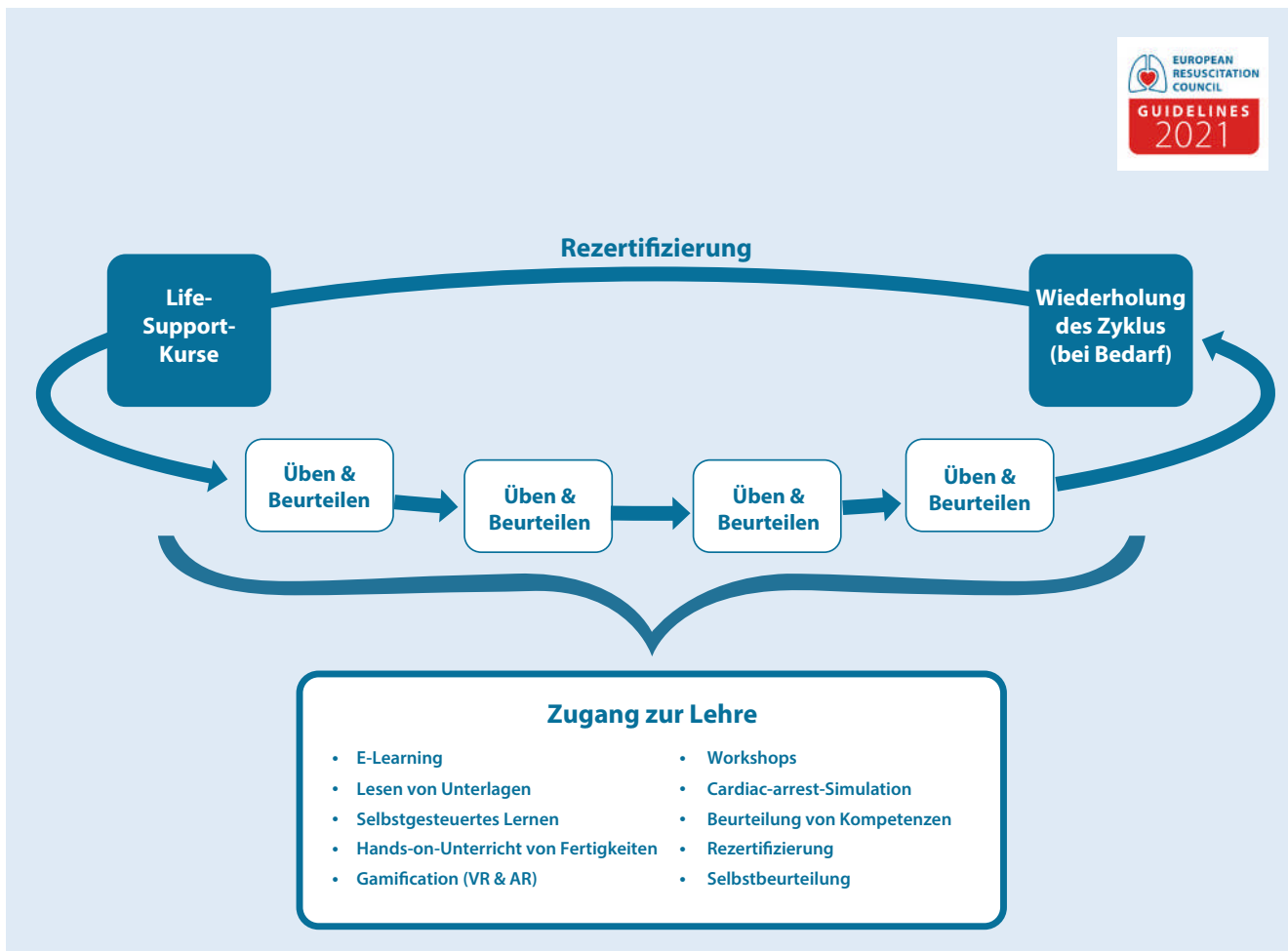


Abb. 6 ▲ Lebenslanges Lernen. VR Virtual Reality, AR Augmented Reality

ge Qualität der Evidenz) [22, 27]. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass „schnelles zyklisches Üben“ eine sehr effektive edukative Strategie ist, um die Teamleistung in der simulierten Reanimationsausbildung zu verbessern [70–72]. Die reflektierte Praxis oder bewusstes Lernen in Form von kurzen Einheiten ermöglicht es, komplexe Inhalte in einfachere, individuelle Fertigkeiten zu unterteilen. Mittels korrigierenden Eingreifens und Feedback werden diese Fertigkeiten so oft wie notwendig in kurzen Einheiten wiederholt, bis das erwartete Leistungsniveau erreicht ist. Danach kann die nächste, schwierigere Fertigkeit erlernt werden. Dadurch kann individuell Feedback über die Verbesserungen gegeben werden, anhand der jeweiligen Kompetenz des Lernenden.

Durch diese Unterrichtsansätze entwickelt sich der Reanimationsunterricht

weg von vereinzelten Kursen, hin zu verteiltem Lernen über einen definierten Zeitraum. Auf Basis dieser Grundlagen hat der ERC eine Strategie zum lebenslangen Lernen („life-long learning“, LLL) entwickelt, um es allen in Reanimation geschulten Personen zu ermöglichen, ihre Kompetenzen aufrechtzuerhalten, solange die notwendigen Rezertifizierungsmodule in einem regelmäßigen Abstand von 6 bis 12 Monaten erfolgreich absolviert werden (▣ **Abb. 6**).

Eine formative Beurteilung mit korrigierendem Feedback ist notwendig, um Lernenden eine externe Sichtweise auf die erbrachte Leistung zu geben, die über die Selbstbewertung ihrer eigenen Kompetenzen hinausgeht. Das Training und die Beurteilung der Kompetenzen von Helfern zur hochqualitativen Reanimation tragen zu einer adäquaten Durchführung im Ernstfall bei.

Eine systematische Übersichtsarbeit eines ILCOR CoSTR empfiehlt die Abhaltung von standardisierten ALS-Kursen mit entsprechend ausgebildeten Instruktoren, da sich gezeigt hat, dass durch diese Kurse das Outcome der Patienten verbessert wird (schwache Empfehlung, sehr geringe Qualität der Evidenz) [22, 42]. Peer Teaching (Unterricht unter Kollegen) wird als hochwirksamer Unterrichtsansatz für BLS [21, 73, 74] als auch für erweiterte lebensrettende Maßnahmen beschrieben [75].

Technologiegestützter Unterricht von Reanimationsmaßnahmen

In den letzten Jahren sind viele neue Technologien zum Unterricht von Reanimationsmaßnahmen verfügbar geworden. Der tatsächliche Einfluss auf die Lehre und das Lernen ist jedoch noch unklar.

Der Zugang zu medizinischen Inhalten ist aufgrund der allgegenwärtigen Verfügbarkeit des Internets einfacher denn je geworden. Virtuelle Lernumgebungen („virtual learning environments“, VLE) unterstützen medizinische Unterrichte. Im Jahr 2015 wurde CoSy als virtuelle Lernumgebung des ERC und Teil aller ERC-Kurse eingeführt. Smartphones und Tablets können verschiedene Aufgaben erfüllen und ändern die Art und Weise, wie wir Reanimation unterrichten und lernen: Sie können unter anderem für CPR-Feedback verwendet werden oder, um einen Monitor zu simulieren. Basierend auf einer systematischen Übersichtsarbeit eines ILCOR CoSTR könnte augenblickliches, visuelles und/oder auditives CPR-Feedback anhand von Apps während des Unterrichts die Leistung von Fertigkeiten verbessern (geringe Qualität der Evidenz) [22]. Durch Serious Games, welche auf mobilen Geräten lauffähig sind, setzen sich Lernende intensiver mit CPR auseinander als anhand von traditionellem Unterricht (z. B. <https://life-saver.org.uk> Resuscitation Council UK; <http://sauveunevie.be> Universität Lüttich, Belgien; www.ircouncil.it/relive/Relive und www.ircouncil.it/picnic, beides Apps des Italian Resuscitation Council oder <https://www.erc.edu/news/a-breath-taking-picnic-app> Link der ERC-Website) [33, 76–78]. Daher sollen mobile Geräte und derartige Apps in zukünftige Unterrichtsansätze einbezogen und mit Präsenzunterricht kombiniert werden.

Der leichte Zugang und das vielfältige Angebot an Social-Media-Plattformen haben das Potenzial, größere Gruppen in unterschiedlichsten Settings, verschiedenen Zeitzonen und abgelegenen Regionen zu unterrichten. Social Media ermöglichen das sofortige Hinzufügen von Kommentaren oder Inhalten und fördern die unmittelbare Kommunikation und das Lernen [79]. Über die Auswirkungen von Social Media auf das Lehren und Lernen von Reanimation ist jedoch noch wenig bekannt. Eine kleine Studie berichtete über die Anwendung einer Messaging-App (Telegram) zur Aufrechterhaltung von BLS-Wissen bei Medizinstudenten [80]. Twitter konnte dazu verwendet werden, um das Lernen wäh-

rend Kursen zu fördern und mögliche Barrieren im Unterricht von Reanimation nachzuweisen [81]. YouTube enthält viele Videos zum CPR-Unterricht. Die Videos bieten jedoch nur unzureichende Informationen über BLS und erweiterte lebensrettende Maßnahmen für Erwachsene und Kinder auf Basis der aktuellen Leitlinien [82, 83]. In einer systematischen Übersichtsarbeit zu frei verfügbaren Apps zur Anleitung von Reanimationsmaßnahmen bei Erwachsenen, basierten nur 15 % auf den aktuellen AHA- oder ERC-Leitlinien [84].

Free Open Access Medical Education (FOAMed) ist eine kostenlose, frei verfügbare Sammlung an Unterlagen [85]. FOAMed (z. B. Twitter, Blogs usw.) fördert klinische Konzepte, evidenzbasierte Medizin und verbreitet Konferenzmaterial. Jedoch können auch fehlerhafte Inhalte schnell und weit verbreitet werden, auch nach einer raschen Korrektur [86]. VLE geben den Lernenden die Flexibilität, ihre Zeit und ihren Ort für das Lernen selbst auszuwählen. Die meisten Lernenden stehen der Verwendung positiv gegenüber [87]. Die Evidenz zur Verwendung von E-Learning im Unterricht von BLS ist gering. Die meisten Studien vergleichen Standardkurse mit E-Learning. In einer randomisierten, kontrollierten Studie haben Castillo et al. einen 4-stündigen Standard-ERC-BLS-Kurs mit Blended Learning (2 h virtueller Unterricht und 2 h praktisches Training) verglichen. Neun Monate danach konnte kein Unterschied in der Durchführung von hochqualitativen Reanimationsmaßnahmen oder dem Erhalt von BLS-Wissen festgestellt werden [88]. Eine andere Arbeit implementierte Blended Learning in BLS-Kursen für Laien und Angehörige von Gesundheitsberufen mithilfe eines Virtual-Reality-Headsets und CPR-Feedbacks sowie praktischer Übungen an BLS-Reanimationspuppen [89]. Das Hinzufügen von E-Learning zu einem pädiatrischen BLS-Kurs für Medizinstudenten verbesserte das Erlernen praktischer Fertigkeiten zu Kursende [65]. Zusammenfassend konnte nicht genügend Evidenz gefunden werden, blended-learning im BLS-Unterricht zu empfehlen.

Ein Blended-Learning-Ansatz für ALS-Kurse, der E-Learning und eine kürzere Präsenzzeit beinhaltete, war gleich erfolgreich wie ein Standardkurs, insbesondere für Teilnehmer mit einer Affinität für E-Learning [90–92]. Eine systematische Übersichtsarbeit eines ILCOR CoSTR spricht eine starke Empfehlung für die Einbindung von E-Learning als Teil von Blended Learning für ALS-Kurse aus, um die Präsenzzeit zu reduzieren (basierend auf einer sehr geringen Qualität an Evidenz, **Abb. 6**; [22]).

Simulation im Reanimationsunterricht

Simulation ist eine weitverbreitete und anerkannte Strategie zum Unterricht von Reanimationsmaßnahmen. Sie fördert kontextbasiertes Lernen abhängig von der realen Umgebung der Lernenden, vom Ersthelfer bis zu professionellen Reanimationsteams. Simulation umfasst das Unterrichten technischer Fertigkeiten (z. B. Atemwegsmanagement, Defibrillation usw.) und von Human Factors (z. B. nichttechnische, zwischenmenschliche und kognitive Fertigkeiten). Der Unterricht erweiterter lebensrettender Maßnahmen umfasst die Simulation von Periarrest-Situationen und Kreislaufstillständen. Durch Simulation kann Crisis Resource Management (CRM), mit Schwerpunkt auf Team- oder Leadership-Verhalten während der Reanimation, trainiert werden. Equipment zur Simulation umfasst Part Task Trainer für BLS (z. B. BLS Torso oder Intubationstrainer) als auch komplexere High-Fidelity-Reanimationspuppen zum Unterricht erweiterter lebensrettender Maßnahmen. Auf Basis dieser Grundlagen müssen die Lernziele für die einzelnen Teilnehmer oder Teams definiert werden als auch die Auswahl für das geeignete Equipment getroffen werden. Evidenz aus einem ILCOR CoSTR unterstützt simulationsbasierten Reanimationsunterricht vor Ort (am Arbeitsplatz der Teilnehmer, auch als in situ bezeichnet) oder in einem dezidierten Simulationszentrum, als Teil von Fortbildungen [22]. Das Lernen anhand von Simulationen findet

während des Debriefings, der kognitiven Reflexion der erlebten Erfahrung, statt.

Realitätsnähe der Simulation

Die Realitätsnähe von Simulatoren, verglichen mit echten Menschen, wird als Low und High Fidelity bezeichnet. Low-Fidelity-Reanimationspuppen oder auch Part Task bieten die Möglichkeit, einfache Prozesse und Fertigkeiten ohne zusätzliche, technologisch fortgeschrittene Besonderheiten zu trainieren (z. B. Intubationstrainer oder BLS Torso). High-Fidelity-Reanimationspuppen umfassen computergesteuerte Simulatoren mit unterschiedlichen Eigenschaften, die tatsächlichen Patienten ähneln (z. B. klinische Zeichen, Vitalfunktionen, spezifische Geräusche, prozessbasierte Echtheit bei Eingriffen wie Atemwegsmanagement oder Gefäßzugang). Die Verwendung von High-Fidelity-Reanimationspuppen kann dem Lernenden eine intensivere Auseinandersetzung mit der Realität ermöglichen und die Echtheit der Lernerfahrung verbessern. Unabhängig von der Realitätsnähe der Simulatoren ist die Relevanz der Lernumgebung von entscheidender Bedeutung, um die Auseinandersetzung der Lernenden mit der Situation und das Lernen an sich zu fördern [93, 94].

In einer systematischen Übersichtsarbeit wurde die Verwendung von High-Fidelity- mit Low-Fidelity-Reanimationspuppen in Bezug auf das Patientenoutcome, die Durchführung der Fertigkeiten und das kognitive Wissen verglichen [95]. Ein evidenzbasiertes Update eines ILCOR CoSTR im Jahr 2020 ergab, dass die High-Fidelity-Gruppe unmittelbar nach Kursabschluss leicht verbesserte Fertigkeiten zeigte sowie einen verbesserten Wissenserhalt nach 6 Monaten [22, 95, 96]. Es gab keinen Vorteil für die Verwendung von High-Fidelity-Reanimationspuppen in Bezug auf das Wissen nach Kursabschluss, die Fertigkeiten nach einem Jahr oder zwischen dem Kursabschluss und ein Jahr danach. Darauf basierend bleibt die Auswahl des Equipments eine Frage der Simulationsziele und -ressourcen, wobei zuerst die Lernziele und danach das Kompetenzniveau der Teilnehmer berücksichtigt werden soll. Der

ILCOR CoSTR 2020 spricht eine schwache Empfehlung für die Verwendung von High-Fidelity-Reanimationspuppen aus, sofern das Kurszentrum über die entsprechende Infrastruktur, entsprechend ausgebildetes Personal sowie die Ressourcen verfügt, um derartige Simulationen durchführen zu können (sehr geringe Qualität der Evidenz) [22]. Sofern keine High-Fidelity-Reanimationspuppen verfügbar sind, wird die Verwendung von Low-Fidelity-Reanimationspuppen für den Unterricht der erweiterten lebensrettenden Maßnahmen empfohlen (schwache Empfehlung, geringe Qualität der Evidenz). Darüber hinaus können moderne Tablet-basierte Simulations-Apps in Kombination mit der Verwendung von Low-Fidelity-Reanimationspuppen eine geeignete Alternative zu angemessenen Kosten für die Simulation von Reanimationsmaßnahmen darstellen.

Unterricht von Human Factors

Durch Simulation können Human Factors (menschliche Faktoren) und deren Auswirkung auf die Leistung erlebbar gemacht werden sowie an der Verbesserung spezifischer nichttechnischer Fertigkeiten in simulierten, kritischen Situationen gearbeitet werden. Human Factors umfassen zwischenmenschliche und kognitive Faktoren, wie effektive Kommunikation, Situationsbewusstsein, Leadership und Teamwork, Aufgabenmanagement und Entscheidungsfindung. Der Begriff Leadership umfasst im Folgenden sinngemäß die soziale Kompetenz in Bezug auf den Begriff Führung, welcher darüber hinaus auch Managementfertigkeiten beinhaltet und sich auch in der deutschen Sprache etabliert hat. Teamwork und Leadership werden zunehmend als wichtige Faktoren anerkannt, die im Gesundheitswesen zur Patientensicherheit und zum Outcome beitragen [97]. Darüber hinaus wird Leadership in der Reanimation mit einer verbesserten Leistung des Teams assoziiert [98]. Zusätzlich legt eine Observationsstudie basierend auf Videoaufzeichnungen von erweiterten lebensrettenden Maßnahmen im Krankenhaus nahe, dass gute nichttechnische Fertigkeiten möglicherweise mit einer

verbesserten Durchführung technischer Fertigkeiten, beispielsweise der Qualität von Thoraxkompressionen, Beatmung und der Defibrillation, assoziiert sind [99]. Leadership- und Teamtraining kann durch verschiedene Methoden vermittelt werden, z. B. E-Learning, videobasiertes Training, Anweisungen, Demonstration anhand von guten Beispielen oder Simulation mit oder ohne spezifische Checklisten (z. B. Team Emergency Assessment Measure, TEAM-Tool) [100]. Die verwendeten Checklisten und Bewertungstools müssen jedoch vor einer möglichen Verwendung validiert werden, um sicherzustellen, dass tatsächlich die gewünschten Fertigkeiten trainiert werden und eine Übereinstimmung mit dem Lernziel vorliegt [101]. Leadership- und Teamtraining sowie der Unterricht von Human Factors kann in speziellen Einheiten zusätzlich zum Kurs als auch longitudinal über die gesamte Unterrichtsdauer erfolgen. Eine systematische Übersichtsarbeit eines ILCOR CoSTR, welche die verschiedenen Unterrichtsmethoden von Leadership- und Teamtraining untersuchte, stellte jedoch unzureichende Evidenz in Bezug auf die Effektivität und Effizienz der einzelnen Methoden fest [22]. In Ermangelung randomisierter, kontrollierter Studien bleibt die Auswirkung spezifischer Leadership- und Teamtrainings auf das Patientenoutcome unklar. Bisher konzentrierten sich Studien hauptsächlich auf Angehörige von Gesundheitsberufen. Jedoch soll das Training von Human Factors als auch Leadership- und Teamtraining auch auf First Responder oder Laien ausgeweitet werden. Zusammenfassend wird empfohlen, dass spezifisches Leadership- und Teamtraining im Unterricht von erweiterten lebensrettenden Maßnahmen integriert wird (sehr geringe Qualität der Evidenz). Folglich sollen Leadership und Teamkompetenzen neben den technischen Fertigkeiten im Reanimationsunterricht adressiert werden.

Briefing und Debriefing der Reanimation

Briefing und Debriefing sind zwei wichtige Aspekte im Zusammenhang mit dem Simulationstraining als auch bei tatsäch-

lichen Notfällen. Unter Briefing versteht man die Besprechung und Abstimmung von relevanten Fakten vor einer Reanimation [102]. Es legt den Rahmen für professionelle Reanimationsteams noch vor dem Patientenkontakt fest, um Rollen zu klären und Aufgaben zu verteilen. Das Debriefing findet zwischen den beteiligten Personen nach einer Reanimation oder einer Simulation statt und umfasst die Diskussion, Reflexion und Analyse der Leistung, mit dem Ziel der zukünftigen Verbesserung [103, 104]. Insbesondere werden die wesentlichen Erkenntnisse und Reflexionen über die Leistung nach einer Simulation oder einem echten Kreislaufstillstand kritisch besprochen. Es stellt einen entscheidenden Aspekt im Lernprozess dar.

Zu den Merkmalen des Debriefings zählen 1) ein Moderator (der möglicherweise Mitglied des Reanimationsteams war, jedoch nicht sein muss und über ein spezielles Training zur Durchführung des Debriefings verfügen kann) und die Teilnehmer (Einzelpersonen bis hin zum gesamten Team oder einer gesamten Organisationseinheit); 2) das Format (vom individuellen Feedback über die Einbeziehung des gesamten Teams bis hin zu einer ganzen Gruppe); 3) der Inhalt („quality of care“, z. B. Einhaltung von Leitlinien, Protokollen oder Prozessen; objektive CPR-Daten wie Thoraxkompressionsrate und -tiefe etc.; Human Factors und emotionale Aspekte); 4) der Zeitpunkt (unmittelbar nach dem Ereignis – Hot Debriefing; zu einem späteren Zeitpunkt – Cold Debriefing); 5) die Dauer (von einigen Minuten bis hin zu einem längeren Zeitraum) [105–108]. Nachdem die Selbsteinschätzung und die Erinnerung an Ereignisse schwierig sein können, sollen objektiv gewonnene Daten über die CPR-Qualität zu einer unvoreingenommenen Beurteilung während des Debriefings beitragen. Viele Defibrillatoren und Monitore bieten bereits derartige Auswertungen an [109–111].

Eine systematische Übersichtsarbeit zum Einfluss von Briefing oder Debriefing zeigte, dass keine Evidenz für den Einsatz von Briefing vor einem Kreislaufstillstand vorliegt. In Bezug auf Debriefing konnten Daten zur CPR-Qualität bei der innerklinischen Behandlung

von Erwachsenen [112, 113] und Kindern, [114] und bei der präklinischen Behandlung von Erwachsenen analysiert werden [115]. Alle Studien umfassten eine datengestützte Auswertung anhand verschiedener Quellen während des Debriefings. Die Metaanalyse zeigte signifikante Effekte des datengestützten Debriefings auf das Überleben bis zur Entlassung, die Rückkehr des Spontankreislaufs und die Tiefe der Thoraxkompressionen. In der systematischen Übersichtsarbeit durch das ILCOR wurde kein signifikanter Effekt auf das Überleben mit günstigem neurologischem Outcome, die Thoraxkompressionsrate und den prozentuellen Anteil der Thoraxkompressionen über die Dauer der Reanimation („chest compression fraction“) identifiziert [22]. Es wird empfohlen, dass nach der Behandlung von Erwachsenen oder Kindern, innerklinisch oder präklinisch, ein datengestütztes, leistungsorientiertes Debriefing von Rettungskräften als Bestandteil des „standard of care“ durchgeführt wird (sehr geringe Qualität der Evidenz).

Faculty Development – Aus- und Fortbildung der Instruktoren

Bezogen auf das Bildungswesen, identifizierte eine Arbeit von Hattie (unter Verwendung einer Metaanalyse von 800 Studien) die individuelle Unterrichtsqualität von Lehrenden als stärkste Effektgröße auf die Lernleistung [25]. Eine weitere systematische Übersichtsarbeit evaluierte Faktoren anhand von 38 Metaanalysen, die mit dem Erfolg korreliert sind. Darin wird die Bedeutung der Ausbildung der Lehrenden als wesentlicher Faktor identifiziert [116]. Die Autoren erkannten einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Leistung der Lernenden und der sozialen Interaktion innerhalb der Kurse sowie von Lernen, das einen Sinn ergibt. Dabei spielte die aktive Verarbeitung der Inhalte durch die Lernenden eine wesentliche Rolle [116]. Die Schlussfolgerung der Überblicksarbeit ergab, dass es viel wichtiger war, *wie* eine Methode angewendet wurde, als, *welches Unterrichtsformat* verwendet wurde. Lernende erbrachten nach dem Unterricht hohe Leistungen, wenn die

Lehrenden viel Aufwand in die Gestaltung der Detailplanung ihrer Kurse und in die Festlegung klarer Lernziele steckten sowie Feedback anwendeten [116].

Obwohl dadurch starke Argumente für die Aus- und Fortbildung von Instruktoren vorliegen, gibt es für medizinischen Unterricht deutlich weniger Evidenz. Bezogen auf den Reanimationsunterricht liegt nur eine sehr geringe Qualität der Evidenz vor [117]. Das Outcome von Interventionen zum Faculty Development kann verschieden evaluiert werden. Dazu zählen der Effekt auf die Faculty (z. B. Erwerb von Unterrichtsfertigkeiten), auf die Lernenden (z. B. Erwerb und Anwendung von Fertigkeiten) sowie das Ausmaß der Umsetzung der erlernten Fertigkeiten in der Praxis.

Für das Outcome auf Ebene der Faculty und der Lernenden liegt eine geringe Qualität der Evidenz vor [118–120]. Beispielsweise ergab eine randomisierte, kontrollierte Studie zum CPR-Training für Medizinstudenten nur einen geringen Unterschied zwischen denen, die von ausgebildeten Instruktoren unterrichtet wurden, und denen, die von nichtausgebildeten Instruktoren unterrichtet wurden [120].

Zum Reanimationsunterricht haben Beobachtungsstudien gezeigt, dass BLS-Kurse für Laien Defizite in der Unterrichtsqualität der Instruktoren und in der Art und Weise, wie unterrichtet wurde, aufwiesen. Aufgrund dieser Ergebnisse sind verbesserte Strategien zur Ausbildung von BLS-Instruktoren notwendig [121–124]. Bezogen auf die Effekte von Maßnahmen zum Faculty Development auf das Patientenoutcome liegen keine Daten vor.

In diesem Abschnitt werden drei Aspekte des Faculty Development diskutiert: die Auswahl geeigneter Instruktoren, die initiale Ausbildung der Instruktoren sowie das Aufrechterhalten deren Fertigkeiten.

Auswahl geeigneter Instruktoren

Reanimationsunterricht zielt darauf ab, die Maßnahmen im Kreislaufstillstand zu vermitteln. Das stellt für viele Angehörige von Gesundheitsberufen ein ungewöhnliches Ereignis dar. Der Großteil der in Reanimation trainierten Laien

wird wahrscheinlich nie in eine derartige Situation kommen. Verschiedene Zielgruppen von Lernenden müssen unterrichtet werden: Angehörige von Gesundheitsberufen in der Akutversorgung, First Responder, Gesundheitsberufe mit unterschiedlichsten Anforderungen in Bezug auf die Reanimation sowie Laien, inklusive Kindern. Zu diesem Zweck müssen Instruktoren mit unterschiedlicher Expertise und unterschiedlichem Hintergrund ausgewählt werden. Viele Instruktoren für BLS-Kurse werden wahrscheinlich keinen Gesundheitsberuf erlernt haben (z. B. Lehrer, Rettungsschwimmer, Freiwillige von Erste-Hilfe- oder Wohltätigkeitsorganisationen).

Nur eine randomisierte, kontrollierte Studie zum CPR-Training für Schulkinder untersuchte die Auswahl von CPR-Trainern und stellte fest, dass Schullehrer den Gesundheitsberufen beim Wissenstransfer überlegen waren, während sie gleichermaßen erfolgreich im Unterrichten von Fertigkeiten waren [125].

Da die Ressourcen für das Faculty Development begrenzt sind, ist es wichtig, Personen auszuwählen, die bereits eine unterstützende Einstellung, intrinsische Motivation, angemessene Kommunikationsfähigkeiten und Begeisterung für die zu unterrichtenden Inhalte zeigen. Die Verfügbarkeit von Instruktoren unterscheidet sich je nach Art der Kurse. BLS-Instruktoren vermitteln relativ „einfache“ Fertigkeiten, welche jedoch lebensrettend sind. Diese lebensrettenden Fertigkeiten können von einer engagierten Person erlernt werden, die diese Kompetenzen auch mit relativ wenig Fachwissen enthusiastisch vermitteln kann. Für den Unterricht von Kindern (z. B. in den „KIDS SAVE LIVES“-Programmen) werden Schullehrer als am geeignetsten angesehen. Neben den Unterrichtskompetenzen sollen sich Instruktoren auch darüber bewusst sein, dass sie Vorbilder und Begleiter in Veränderungsprozessen sind. Sie müssen ein Verständnis für affektives Lernen und Motivation haben und sich der Relevanz des Unterrichtserfolges für die Lernenden in deren Kontext bewusst werden, sowie mögliche Auswirkungen auf den Patienten-Outcome.

Im Zuge von ERC-ALS-Kursen wählt die Faculty geeignete Teilnehmer als mögliche Instruktoren auf Basis von speziellen Kriterien aus. Dazu zählen ein exzellentes Fachwissen sowie die dazugehörigen Fertigkeiten als auch Charakterzüge, welche als maßgeblich für die Unterstützung des Lernprozesses angesehen werden.

Unterricht von Instruktoren

Keine Studie befasste sich mit spezifischen Formaten zum Unterricht von CPR-Instruktoren. Eine rezente systematische Übersichtsarbeit befasste sich mit Programmen zum Faculty Development in der Medizin. Dabei stellten sich verschiedene Herangehensweisen als effektiv heraus, inklusive Seminaren, Workshops, Unterrichtsreihen sowie Fellowships [117]. Die meisten Studien befassten sich nur mit der Beobachtung von Unterrichtsleistungen und nicht mit den Auswirkungen des Unterrichts der Instruktoren auf die Lernleistung. Als Ergebnis der Übersichtsarbeit besteht eine effektive Herangehensweise darin, praktische Unterrichtseinheiten gemeinsam mit konstruktivem Feedback zu vermitteln, was allgemein als erfahrungsbasiertes Lernen bezeichnet wird [126–129]. Der Unterricht von Instruktoren soll alle Methoden abdecken, welche später in den Kursen verwendet werden. Zuerst sollen die Instruktoren über das adäquate inhaltliche Wissen verfügen, um Details und Evidenz der unterrichteten Reanimationsmaßnahmen erklären zu können, abhängig vom jeweiligen Niveau der Lernenden. Initiale Unterrichtsprogramme für Reanimationsinstruktoren sollen evidenzbasierte Formate verwenden, basierend auf edukativen Theorien, inklusive ergebnisorientierter Lehr- und Lernmethoden. Wesentliche edukative Elemente in der Ausbildung von Reanimationsinstruktoren sollen die Vermittlung praktischer CPR-Fertigkeiten, die Förderung von interaktivem Lernen in kleinen Gruppen und die Verwendung grundlegender Präsentationsfähigkeiten inkludieren. Instruktoren sollen in der Lage sein, eine strukturierte Unterrichtseinheit abzuhalten, welche auf dem bereits vorhandenen Wissen der Lernenden aufbaut.

Darüber hinaus sollen Instruktoren ein Verständnis dafür entwickeln, welche Lernergebnisse den stärksten Einfluss auf das Patientenoutcome haben (z. B. Initiierung von Reanimationsmaßnahmen, Qualität der Thoraxkompressionen usw.).

Die edukativen Inhalte des Unterrichts sollen folgende Punkte inkludieren: die Etablierung einer Kompetenz- und ergebnisorientierten Lehr- und Lernumgebung, die Vermittlung von konstruktivem Feedback sowie die Durchführung von wirksamen Beurteilungsmethoden zur Steuerung des Lernprozesses und zur Rezertifizierung.

ALS-Instruktoren sollen darüber hinaus über das notwendige fachliche Wissen verfügen, um alle Details und die Evidenz bezogen auf die unterrichteten Reanimationskompetenzen erklären zu können. Kompetenzen von zukünftigen Instruktoren sollen nicht nur auf das Unterrichten in einem komplexen Kontext abzielen (z. B. Training von professionellen Teams, welche regelmäßig in Notfälle involviert sind), sondern auch die Unterstützung bei der Entwicklung von Human Factors (nichttechnische Fertigkeiten, Kommunikation, zwischenmenschliche Zusammenarbeit), das Durchführen effektiver Debriefings als auch die Verwendung von CPR-Feedbackgeräten im Unterricht beinhalten [22, 130, 131]. Es wurden viele verschiedene Strategien beschrieben, um Feedback zu geben, Debriefings durchzuführen und Teamwork zu unterrichten. Es ist jedoch nicht bekannt, welche Methode für den Unterricht von Reanimationsinstruktoren am geeignetsten ist.

Reanimationsinstruktoren im Laienunterricht sollten Lernende zum Helfen motivieren, und BLS Maßnahmen so durchzuführen lassen, dass dies möglicherweise den Outcome von Patienten verbessern kann. Da für das Training ganzer Bevölkerungsgruppen eine große Anzahl von BLS-Instruktoren erforderlich ist, sind diese Instruktoren häufig keine Angehörigen von Gesundheitsberufen, wodurch kein hohes Maß an fachlicher Expertise vorausgesetzt werden kann. Die BLS-Instruktoren sollen daher in der Lage sein, die Maßnahmen und Fertigkeiten der CPR gemäß den

aktuellen Leitlinien perfekt zu demonstrieren und durchzuführen sowie Fragen zu den in den Unterrichtsmaterialien enthaltenen Informationen zu beantworten. Studien zeigen, dass Instruktoren, die Kurse für Laien anbieten, möglicherweise Defizite bei wesentlichen inhaltlichen Kenntnissen aufweisen und daher nicht in der Lage sind, die Kompetenz ihrer Lernenden zuverlässig beurteilen zu können [122, 124]. Da sie keine inhaltlichen Experten sind, müssen sie nationale oder internationale Checklisten als Grundlage für die Beurteilung verwenden. Effektives Lernen ist wichtig, um die Wahrnehmung der eigenen Leistung und die Motivation zu erhöhen, sodass im Notfall schnell gehandelt werden kann [132]. All diese Aspekte müssen speziell bei der Ausbildung von BLS-Instruktoren für Laien berücksichtigt werden.

Das Unterrichten von Kindern in Reanimationsfertigkeiten erfordert möglicherweise bestimmte Kompetenzen. Es gibt Evidenz, dass Schullehrer gleich effektiv in der Vermittlung von CPR-Fertigkeiten sind wie Angehörige von Gesundheitsberufen, sowie möglicherweise auch überlegen, bezogen auf den Wissenstransfer [29, 125]. Ein möglicher Ansatz im Faculty Development besteht darin, Kinder sowohl von Angehörigen von Gesundheitsberufen als Experten für den Inhalt, als auch von pädagogisch qualifizierten Schullehrern, zu unterrichten.

Abschließend ist eine formative Beurteilung der Kompetenz der Instruktoren notwendig, bevor der Unterricht in tatsächlichen Kursen stattfindet. Ein wertvoller Schritt zu Beginn der Unterrichtslaufbahn ist der Status eines Instruktor-kandidaten, wobei der Unterricht unter Aufsicht mit sofort verfügbarer Unterstützung und Feedback durchgeführt werden kann.

Aufrechterhaltung von Kompetenzen/kontinuierliche Fortbildung

Nach der Ausbildung der Instruktoren ist es wichtig, dass sie ihre Kompetenzen aufrechterhalten und mit den Entwicklungen in den Bereichen Reanimation und Lehre Schritt halten. Ziel ist es, eine selbstgesteuerte, kontinuierliche Fortbildung zu fördern sowie zu vermeiden, dass

Einzelpersonen „ihr eigenes Ding machen“. Kontinuierliche Fortbildung ist für ERC-Instruktoren, Kursdirektoren und Edukatoren gleichermaßen wichtig.

Keine Studie befasste sich mit der Frage, wie die Kompetenzen von Instruktoren im Laufe der Zeit am besten aufrechterhalten werden können. Um eine selbstgesteuerte, lebenslange Entwicklung zu fördern, wurde eine Reihe von Strategien vorgeschlagen, die auf begrenzter Evidenz beruhen, darunter reflektierte Praxis („reflective practice“), Peer Coaching und Communities of Practice [69].

Die bewusste Reflexion der Praxis („deliberate reflective practice“) beschreibt den Prozess der Selbstreflexion der eigenen Leistung mit der Absicht, diese weiter zu verbessern [133]. Es gibt Hemmnisse für die reflektierte Praxis in der Medizin. An erster Stelle steht die Schwierigkeit der Selbsteinschätzung [134]. Es gibt auch Unklarheiten über das Konzept der reflektierten Praxis und eine nicht ausreichende Anzahl an Vorbildern [135]. All diese Probleme müssen adressiert werden, wenn die reflektierte Praxis effektiv in das Faculty Development für den Reanimationsunterricht implementiert werden soll [136]. Strukturierte Beurteilungsinstrumente können hierfür hilfreich sein.

Peer Coaching bietet eine wertvolle Perspektive von außen, fördert das gegenseitige Lernen und stärkt Communities of Practice [43, 137]. Peer Coaching kann in Teams von Instruktoren initiiert und daher leicht durchgeführt werden. Es stellt eine häufige Situation in ALS-Kursen dar. Darüber hinaus kann es in Form gegenseitiger, geplanter Beobachtung zwischen Instruktoren erfolgen. Dies erfordert ein Klima des gegenseitigen Vertrauens zwischen den Instruktoren und kann der erste Schritt zur Entwicklung von Communities of Practice sein. Communities of Practice können die Abhaltung von Unterrichten beeinflussen, indem darin Ziele und Ansichten geteilt werden [138]. Kooperationen können hergestellt werden, z. B. das Teilen von Unterrichtsmaterial oder die Einrichtung eines Peer Coaching. Außerdem können neue Informationen schneller und auf standardisierte Weise verbreitet werden. Für Communities of Practice ist eine organisatorische

Unterstützung unerlässlich. Ein Beispiel für ein unterstützendes Tool ist die ERC-Lernplattform CoSy. Andere Ansätze zur Etablierung von Communities of Practice sind „Instruktorgruppen“ oder die Organisation von „Instruktortagen“, um die kontinuierliche Fortbildung zu unterstützen. Instruktoren, Kursdirektoren und Edukatoren sollen sich als Teil einer Community of Practice verstehen. Webbasierte Formate zur Interaktion und Vernetzung können hilfreich sein, um zu vermeiden, dass Einzelpersonen „ihr eigenes Ding machen“. ■ **Abb. 7.**

Auswirkung von Reanimationsunterricht auf das Patientenoutcome

ALS-Unterricht für erwachsene Patienten

Der ERC bietet seit Langem akkreditierte Advanced-Life-Support-Kurse für die Versorgung von Neugeborenen, Kindern und Erwachsenen an. Die Durchführung dieser Kurse erfordert bestimmte Ressourcen und hängt von der zeitlichen Verfügbarkeit von Instruktoren und Teilnehmern ab. Es ist daher wichtig, die Auswirkungen dieser Kurse auf das Outcome der Patienten zu zeigen.

In einer systematischen Übersichtsarbeit wurde untersucht, ob die vorherige Teilnahme eines oder mehrerer Mitglieder eines Reanimationsteams an einem ALS-Kurs das Patientenoutcome beeinflusst [42]. Sämtliche Studien in beliebigen Sprachen, die sich speziell mit den Advanced-Cardiac-Life-Support-Kursen der American Heart Association, den Advanced-Life-Support-Kursen des Resuscitation Council UK, des ERC und des Australian Resuscitation Council befassten, wurden eingeschlossen. Acht Beobachtungsstudien wurden in die Metaanalyse inkludiert [139–146].

Eine systematische Übersichtsarbeit eines ILCOR CoSTR zeigt einen Zusammenhang zwischen Advanced Cardiac Life Support Training und dem Wiedereintritt eines Spontankreislaufs, basierend auf sehr geringer Qualität der Evidenz [22, 141–146]. Es zeigt sich ein Zusammenhang zwischen Advanced Cardiac Life Support Training und dem Überleben bis zur Krankenhausentlassung oder dem 30-Tage-Überleben,

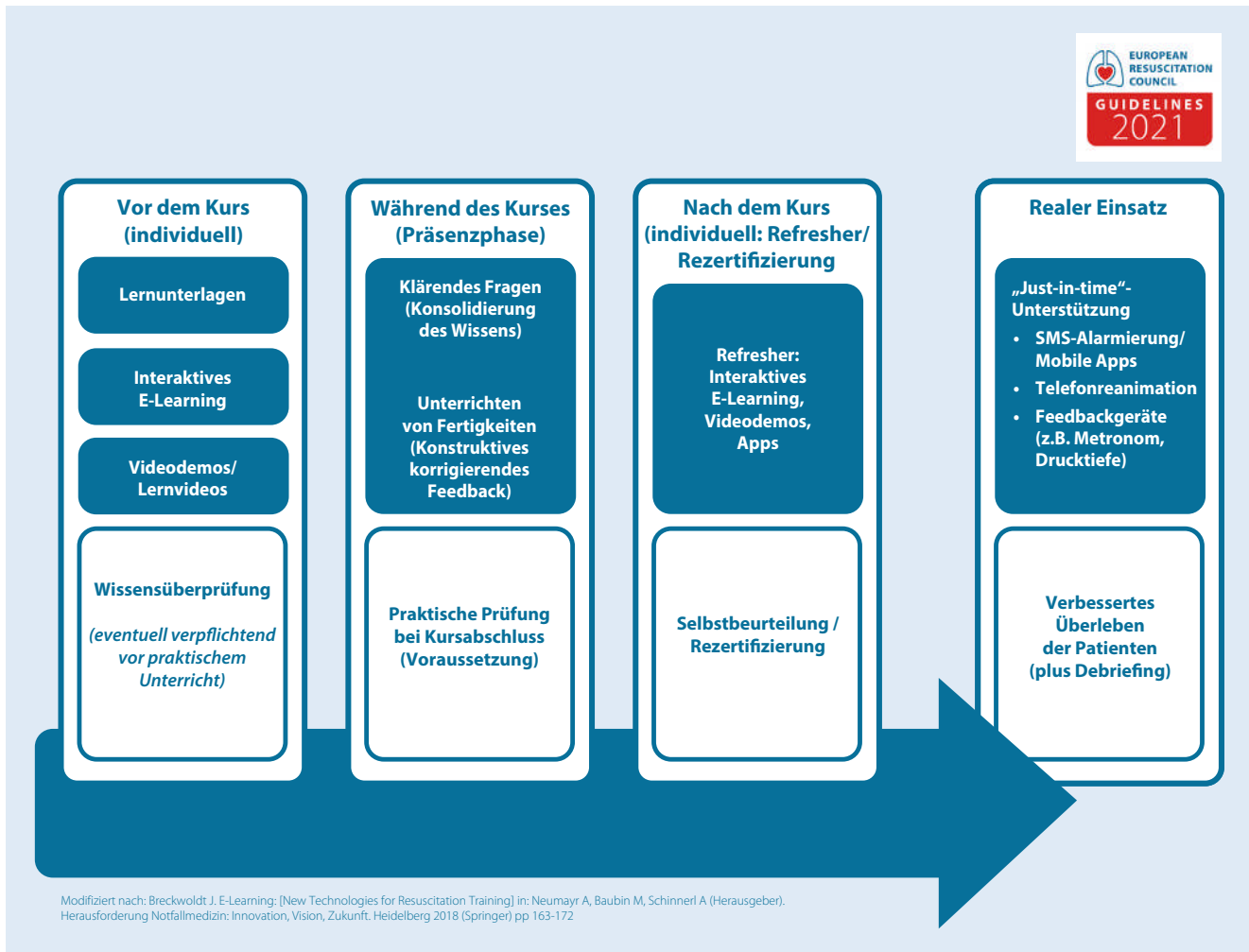


Abb. 7 ▲ Reanimationskompetenzen – ein Kontinuum von BLS zu ALS

basierend auf sehr geringer Qualität der Evidenz [139–141, 143–146]. Es gibt keinen Zusammenhang zwischen Advanced Cardiac Life Support Training und dem 1-Jahres-Überleben, basierend auf sehr geringer Qualität der Evidenz [143, 144]. Es kann daher angenommen werden, dass sich die vorherige Teilnahme von Angehörigen von Gesundheitsberufen an einem akkreditierten ALS-Kurs positiv auf das Outcome der Patienten auswirkt.

Neonatal Life Support Training

Eine systematische Übersichtsarbeit und eine Metaanalyse der Auswirkungen von Neonatal Life Support Training auf die Neugeborenen- und perinatale Sterblichkeit identifizierten 20 Studien mit 1.653.805 Geburten [147]. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass Neonatal

Life Support Training im Vergleich zur Kontrolle das Risiko für Totgeburten, die 7-Tage-Neugeborenensterblichkeit, die 28-Tage-Neugeborenensterblichkeit und die perinatale Sterblichkeit senkte. Diese Analysen basierten auf zwei randomisierten, kontrollierten Studien [148, 149]. Darüber hinaus analysierte die systematische Übersichtsarbeit 18 Studien vor und nach der Intervention und kam zu dem Schluss, dass nach dem Neonatal Life Support Training das Risiko für von Totgeburten, die 1-Tages-Neugeborenensterblichkeit, 7-Tage-Neugeborenensterblichkeit, 28-Tage-Neugeborenensterblichkeit und die perinatale Sterblichkeit abnahm. Die Qualität der Evidenz für den Vergleich von Neonatal Life Support Training und Kontrolle wurde für die 7-Tage- und 28-Tage-Neugeborenensterblichkeit als

hoch und für die perinatale Sterblichkeit in derselben Analyse als moderat eingestuft. Alle anderen Analysen beruhen auf einer sehr geringen Qualität der Evidenz. Basierend auf dieser Übersichtsarbeit sind die Implikationen für die Praxis, dass Neonatal Life Support Training eine bessere Versorgung während und nach der Geburt fördert, was zu einer verringerten Rate an Totgeburten führt und das Überleben von Neugeborenen verbessert.

Andere Life-Support-Kurse

Die Evidenz aus anderen Life-Support-Kursen wird ebenfalls als wichtig erachtet. Eine systematische Übersichtsarbeit der Auswirkungen von Advanced-Trauma-Life-Support(ATLS)-Kursen ergab, dass das Kursformat einen positiven edukativen Wert hat [150, 151]. Leider

gibt es jedoch keine Evidenz, dass solche Traumakurse die Mortalität nach einem Trauma reduzieren. Die Übersichtsarbeit identifizierte nur eine prospektive Kohortenstudie und sechs retrospektive Studien. Fünf Studien zeigten keinen Effekt, eine zeigte eine signifikante Verbesserung, während eine andere ein schlechteres Outcome für Traumapatienten zeigte, die von ATLS-zertifizierten Ärzten behandelt wurden. Ein Cochrane-Review des ATLS-Trainings konnte keine kontrollierten Studien zu diesem Thema identifizieren und forderte mehr Forschung [152]. Obwohl die limitierte Evidenz für ATLS sich als neutral zeigt, steht diese nicht im Widerspruch zur Evidenz für ALS-Kurse und Neonatal Life Support Training.

Zusammenfassend wird die Durchführung von akkreditierten ALS-Kursen zur Behandlung erwachsener Patienten und von Neonatal Life Support Training für Angehörige der Gesundheitsberufe empfohlen [22]. Nachdem keine Daten vorliegen, die schädliche Effekte zeigen, wird es als vernünftig angesehen, andere ähnlich akkreditierte Life-Support-Kurse für Angehörige der Gesundheitsberufe zu empfehlen, z. B. Paediatric Advanced Life Support, obwohl weitere Forschung notwendig ist, um die tatsächlichen Auswirkungen auf das Outcome der Patienten zu quantifizieren.

Forschungslücken und zukünftige Forschungsgebiete in der Reanimationslehre

Ziel der Evaluierung von internationaler Evidenz zur Reanimation ist die kritische Bewertung der aktuellsten wissenschaftlichen Erkenntnisse in Bezug auf Lehre und deren Umsetzung für alle Anwenderniveaus [153]. Die Bedeutung der edukativen Forschung in Bezug auf die Reanimation liegt in der Implementierung von „Best-Practice“-Ansätzen für Lernende und Instruktoren, was zum verbesserten Outcome der Patienten nach Kreislaufstillstand führt und von höchster Priorität ist.

Die American Heart Association hat die Formel des Überlebens [1] in ihrer wissenschaftlichen Stellungnahme zum Unterricht von Reanimation erweitert,

neue Konzepte aus der breiteren Literatur zur medizinischen Lehre eingeführt und neue Strategien zur Verbesserung der Unterrichtseffizienz von Reanimationsstraining hinzugefügt [69].

Es fehlt nach wie vor an hochqualitativer Forschung zum Unterricht von Reanimation, um zu zeigen, dass das Training die Prozessqualität (z. B. Kompressionsrate, Tiefe etc.) und das Outcome der Patienten (z. B. Rückkehr eines Spontankreislaufs, Überleben bis zur Entlassung oder Überleben mit günstigem neurologischem Ergebnis) verbessern kann. Die optimale Unterrichtsart und -häufigkeit von wiederkehrendem Training zum Erhalt von Fertigkeiten sind nicht bekannt [22]. Weitere Wissenslücken sind Umsetzbarkeit, Präferenz der Lernenden, Selbstwirksamkeit und Kosteneffizienz in Bezug auf Wiederholungskurse und verteiltes Lernen [27, 154].

Es fehlt an Forschung zur Empfehlung der effektivsten und effizientesten Methode zur Vermittlung von Leadership und Teamleistung, zur besten Integration von Human Factors und nicht-technischen Fertigkeiten in die medizinische Lehre und zur Auswahl der effektivsten Beurteilungsmethode basierend auf den Lernzielen sowie abschließend Untersuchung welchen Effekt Simulation auf die Verbesserung des Patientenoutcomes hat.

Strategien zur Verbesserung der Unterrichtseffizienz können die Aktualisierung von Reanimationskursen fokussierend auf die Lernenden sowie die bestmögliche Nutzung neuer Unterrichtsmodalitäten mithilfe digitaler Medien umfassen. Es gibt jedoch unzureichende Evidenz zur Anleitung dieser Strategien. Weitere Forschung ist notwendig, um die potenziellen Vorteile eines Blended-Learning-Ansatzes für alle Kursmodalitäten, für Laien und für Angehörige der Gesundheitsberufe, zu ermitteln. Die damit verbundene Forschung soll nicht ausschließlich auf edukative Outcomes (z. B. Wissen, Fertigkeiten und Zufriedenheit der Teilnehmer) beschränkt sein, sondern auch Outcomes wie Kosteneffizienz und Verkürzung des Präsenzunterrichts beinhalten.

Empfehlungen für die Forschung in der Reanimationslehre

Weitere Forschung ist notwendig, um die Auswirkungen von medizinischen Notfällen und Reanimationsversuchen auf das emotionale und psychologische Wohlbefinden von Laien, organisierten Ersthelfern und Angehörigen der Gesundheitsberufe zu untersuchen. Ausbildung und Training tragen dazu bei, Stress und kognitive Belastungen im Zusammenhang mit Reanimation zu reduzieren, wobei eine vollständige Untersuchung dieser Zusammenhänge noch nicht durchgeführt wurde [155]. Über die Auswirkungen von interprofessionellem Lernen und geschlechtsspezifischer Unterschiede in der Führung von CPR-Teams ist noch immer wenig bekannt [156, 157].

Train-the-Trainer-Programme verbreiten den Reanimationsunterricht auf der ganzen Welt und tragen zur Verbesserung der Ausbildung von Instruktoren bei [158]. Trotzdem benötigt die Weiterentwicklung bestehender Instruktoren und Edukatoren im Reanimationsunterricht entsprechende Forschung, von BLS bis ALS. Feedback und Debriefing sind ein wichtiger Bestandteil des Reanimationsunterrichts, wobei effektives Feedback zweckmäßig sein muss, um effektiv sein zu können. Es gibt einen offensichtlichen Mangel an Forschung zum Unterricht von Feedback für Instruktoren [159]. Besondere Aufmerksamkeit ist notwendig, um eine kompetente Faculty zu entwickeln, die in der Lage ist, den Lernenden effektiv und kontextualisiert ein Curriculum zu vermitteln [69]. Die Entwicklung der Faculty muss zukünftig auch die große Variabilität in Bezug auf Expertise und Hintergrund der Instruktoren berücksichtigen.

Korrespondenzadresse

Dr. med. Robert Greif, MME
Department of Anaesthesiology and Pain Medicine, Bern University Hospital, University of Bern
Bern, Schweiz
robert.greif@insel.ch

Danksagung. Die Übersetzung dieses Kapitels wurde von Dr. med. Robert Greif, MME und Lucas Pflanzl-Knizacek geleistet. Die Autorengruppe dankt

Jasmeet Soar für seinen wertvollen Beitrag zu dem Kapitel.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. R. Greif declares his role as editor of the journal *Trends in Anaesthesia and Critical Care*, associate editor *European Journal of Anaesthesiology*. He reports institutional research funding. J. Breckwoldt declares his role of associate editor *BMC and Notfall+Rettenungsmedizin*. J. Yeung declares research grants from National Institute for Health Research and Resuscitation Council UK. A. Lockey reports his role of medical advisor for First on Scene training company. A. Scapigliati declares research funding EU for "I procure security project". L. Pflanzl-Knizacek is shareholder of Patientensicherheit.at OG. F. Carmona declares partial ownership of a company of CPR training and simulation materials. P. Conaghan, A. Kuzovlev, F. Sari, K.G. Monsieurs, S. Shammiet and N. Turner declare that they have no competing interests. [Stand 7.5.2020, Originalartikel in *Resuscitation*]

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

- Soreide E, Morrison L, Hillman K et al (2013) The formula for survival in resuscitation. *Resuscitation* 84(11):1487–1493. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2013.07.020>
- Nolan JP, Monsieurs KG, Bossaert L et al (2020) European Resuscitation Council COVID-19 guidelines executive summary. *Resuscitation* 153:45–55. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.06.001>
- Illeris K (2018) An overview of the history of learning theory. *Eur J Educ* 53(1):86–101
- Skinner BF (1974) *About behaviorism*. Knopf, New York
- Piaget J (1957) *Construction of reality in the child*. Routledge & Kegan Paul, London
- Bloom BS, Englehart MD, Furst EJ, Hill WH, Krathwohl DR (1956) *Taxonomy of educational objectives: the classification of educational goals. Handbook I: cognitive domain*. Longmans, London
- Ausubel DP (1968) *Educational psychology: a cognitive view*. Holt, Rinehart and Winston, New York
- Sweller J, Ayres P, Kalyuga S (2011) *Cognitive load theory*. Springer, New York
- Bruner JS (1960) *The Process of education*. Harvard University Press, Cambridge
- Vygotsky CM, Stein S, Sekula A (1978) *Mind in society: the development of higher psychological processes*. Harvard University Press, Cambridge
- Maslow AH (1954) *Motivation and personality*. Harpers, New York
- Rogers CR (1992) *Freedom to learn for the 80's*. Merrill, New York
- Siemens G (2016) *Connectivism: a learning theory for the digital age*. *Med Teach* 38:1064–1069
- Lockey AS, Conaghan P, Bland AJ, Astin F (2020) Educational theory and its application to advanced life support courses: a narrative review. *Resuscitation Plus* 5:100053. <https://doi.org/10.1016/j.resplu.2020.100053>
- Knowles MS (1984) *Andragogy in action: applying modern principles of adult learning*. Jossey-Bass, San Francisco
- Hase S, Kenyon C (2001) *From Andragogy to Heutagogy: ultiBASE*
- Canning N (2010) *Playing with heutagogy: exploring strategies to empower mature learners in higher education*. *J Furth High Educ* 34:59–71
- Knowles MS, Holton EF III, Swanson RA, Robinson PA (2020) *The adult learner. The definitive classic in adult education and human resource development, 5. Aufl.* Routledge, Woburn
- Stewart C, Hase K (2013) *Heutagogy fundamentals. Self-determined learning: Heutagogy in action*. Bloomsbury Academic, London
- Corneli J, Danoff CJ. *Paragogy: synergizing individual and organizational learning*. UK: Knowledge Media Institute, The Open University. <https://upload.wikimedia.org/wikiversity/en/6/60/Paragogy-final.pdf>
- Harvey PR, Higenbottam CV, Owen A, Hulme J, Bion JF (2012) Peer-led training and assessment in basic life support for healthcare students: synthesis of literature review and fifteen years practical experience. *Resuscitation* 83(7):894–899. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.01.013>
- Greif R, Bhanji F, Bigham BL et al (2020) Education, implementation, and teams: 2020 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A188–A239. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.09.014>
- Semeraro F, Greif R, Böttiger BW et al (2021) European Resuscitation Council Guidelines 2021: Systems saving lives. *Resuscitation* 161:80–97. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.008>
- Hattie J (2009) *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses related to achievement*. Routledge, London
- Hattie J (2012) *Visible learning for teachers: maximizing impact on learning*. Routledge, London
- Olasveengen TM, Semeraro F, Ristagno G et al (2021) European resuscitation council guidelines for basic life support. *Resuscitation* 161:98–114. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.009>
- Yeung J, Djarv T, Hsieh MJ et al (2020) Spaced learning versus massed learning in resuscitation—a systematic review. *Resuscitation* 156:61–71. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.08.132>
- Böttiger BW, Bossaert LL, Castren M et al (2016) Kids Save Lives—ERC position statement on school children education in CPR: “Hands that help—Training children is training for life”. *Resuscitation* 105:A1–A3. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.06.005>
- Bohn A, Lukas RP, Breckwoldt J, Böttiger BW, Van Aken H (2015) “Kids save lives”: why schoolchildren should train in cardiopulmonary resuscitation. *Curr Opin Crit Care* 21(3):220–225. <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000204>
- Otero-Agra M, Barcala-Furelos R, Besada-Saavedra I, Peixoto-Pino L, Martinez-Isasi S, Rodriguez-Nunez A (2019) Let the kids play: gamification as a CPR training methodology in secondary school students. A quasi-experimental manikin simulation study. *Emerg Med Clin North Am* 36(11):653–659. <https://doi.org/10.1136/emered-2018-208108>
- Abelairas-Gomez C, Rodriguez-Nunez A, Casillas-Cabana M, Romo-Perez V, Barcala-Furelos R (2014) Schoolchildren as life savers: at what age do they become strong enough? *Resuscitation* 85(6):814–819. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.03.001>
- Jones I, Whitfield R, Colquhoun M, Chamberlain D, Vetter N, Newcombe R (2007) At what age can schoolchildren provide effective chest compressions? An observational study from the Heartstart UK schools training programme. *BMJ* 334(7605):1201. <https://doi.org/10.1136/bmj.39167.459028.DE> (In eng)
- Semeraro F, Frisoli A, Loconsole C et al (2017) Kids (learn how to) save lives in the school with the serious game Relive. *Resuscitation* 116:27–32. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.04.038>
- Baldi E, Savastano S, Contri E et al (2020) Mandatory cardiopulmonary resuscitation competencies for undergraduate healthcare students in Europe: a European Resuscitation Council guidance note. *Eur J Anaesthesiol* 37(10):839–841. <https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000001272>
- Abelairas-Gomez C, Carballo-Fazanes A, Martinez-Isasi S, Lopez-Garcia S, Rico-Diaz J, Rodriguez-Nunez A (2020) Knowledge and attitudes on first aid and basic life support of primary and preschool teachers and parents. *An Pediatr* 92(5):268–276. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2019.10.010>
- Abelairas-Gomez C, Lopez-Garcia S, Martinez-Isasi S, Carballo-Fazanes A, Rodriguez-Nunez A (2019) Basic life support knowledge of the future of the Infant and Primary School teacher. An unresolved problem in university study plans? *An Pediatr* 91(5):344–345. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2018.10.010>
- Böttiger BW, Lockey A, Georgiou M et al (2020) KIDS SAVE LIVES: ERC Position statement on schoolteachers’ education and qualification in resuscitation. *Resuscitation* 151:87–90. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.04.021>
- Suss-Havemann C, Kosan J, Seibold T et al (2020) Implementation of Basic Life Support training in schools: a randomised controlled trial evaluating self-regulated learning as alternative training concept. *BMC Public Health* 20(1):50. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-8161-7>
- Breckwoldt J, Beetz D, Schnitzer L, Waskow C, Arntz HR, Weimann J (2007) Medical students teaching basic life support to school children as a required element of medical education: a randomised controlled study comparing three different approaches to fifth year medical training in emergency medicine. *Resuscitation* 74(1):158–165. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2006.11.017>
- Beck S, Meier-Klages V, Michaelis M et al (2016) Teaching school children basic life support improves teaching and basic life support skills of medical students: a randomised, controlled trial. *Resuscitation* 108:1–7. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.08.020>
- Panchal A, Keim S, Ewy G, Kern K, Hughes KE, Beskind D (2019) Development of a medical student cardiopulmonary resuscitation elective to promote education and community outreach. *Cureus* 11(4):e4507. <https://doi.org/10.7759/cureus.4507>
- Lockey A, Lin Y, Cheng A (2018) Impact of adult advanced cardiac life support course participation on patient outcomes—A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 129:48–54. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.05.034>

43. Bell AE, Meyer HS, Maggio LA (2020) Getting better together: a website review of Peer coaching initiatives for medical educators. *Teach Learn Med* 32(1):53–60. <https://doi.org/10.1080/10401334.2019.1614448>
44. Dami F, Heymann E, Pasquier M, Fuchs V, Carron PN, Hugli O (2015) Time to identify cardiac arrest and provide dispatch-assisted cardio-pulmonary resuscitation in a criteria-based dispatch system. *Resuscitation* 97:27–33. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.09.390>
45. Lewis M, Stubbs BA, Eisenberg MS (2013) Dispatcher-assisted cardiopulmonary resuscitation: time to identify cardiac arrest and deliver chest compression instructions. *Circulation* 128(14):1522–1530. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.113.002627>
46. Vaillancourt C, Charette M, Kasaboski A et al (2015) Cardiac arrest diagnostic accuracy of 9-1-1 dispatchers: a prospective multi-center study. *Resuscitation* 90:116–120. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.02.027>
47. Clegg GR, Lyon RM, James S, Branigan HP, Bard EG, Egan GJ (2014) Dispatch-assisted CPR: Where are the hold-ups during calls to emergency dispatchers? A preliminary analysis of caller-dispatcher interactions during out-of-hospital cardiac arrest using a novel call transcription technique. *Resuscitation* 85(1):49–52. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2013.08.018>
48. Tanaka Y, Taniguchi J, Wato Y, Yoshida Y, Inaba H (2012) The continuous quality improvement project for telephone-assisted instruction of cardiopulmonary resuscitation increased the incidence of bystander CPR and improved the outcomes of out-of-hospital cardiac arrests. *Resuscitation* 83(10):1235–1241. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2012.02.013>
49. Hardeland C, Skare C, Kramer-Johansen J et al (2017) Targeted simulation and education to improve cardiac arrest recognition and telephone assisted CPR in an emergency medical communication centre. *Resuscitation* 114:21–26. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.02.013>
50. Meischke H, Painter IS, Stangenes SR et al (2017) Simulation training to improve 9-1-1 dispatcher identification of cardiac arrest: a randomized controlled trial. *Resuscitation* 119:21–26. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.07.025>
51. Olasveengen TM, Mancini ME, Perkins GD et al (2020) Adult basic life support: international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 156:A35–A79. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.09.010>
52. Jorge-Soto C, Abelairas-Gomez C, Barcala-Furelos R et al (2016) Automated external defibrillation skills by naive schoolchildren. *Resuscitation* 106:37–41. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.06.007>
53. Cook TM, El-Boghdady K, McGuire B, McNarry AF, Patel A, Higgs A (2020) Consensus guidelines for managing the airway in patients with COVID-19: Guidelines from the Difficult Airway Society, the Association of Anaesthetists the Intensive Care Society, the Faculty of Intensive Care Medicine and the Royal College of Anaesthetists. *Anaesthesia* 75(6):785–799. <https://doi.org/10.1111/anae.15054>
54. Abolfotouh MA, Alnasser MA, Berhanu AN, Al-Turaif DA, Alfayez AI (2017) Impact of basic life-support training on the attitudes of health-care workers toward cardiopulmonary resuscitation and defibrillation. *BMC Health Serv Res* 17(1):674. <https://doi.org/10.1186/s12913-017-2621-5>
55. Case R, Cartledge S, Siedenburg J et al (2018) Identifying barriers to the provision of bystander cardiopulmonary resuscitation (CPR) in high-risk regions: A qualitative review of emergency calls. *Resuscitation* 129:43–47. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.06.001>
56. Yu Y, Meng Q, Munot S, Nguyen TN, Redfern J, Chow CK (2020) Assessment of community interventions for bystander cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Netw Open* 3(7):e209256. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.9256>
57. Gonzalez-Salvado V, Fernandez-Mendez F, Barcala-Furelos R, Pena-Gil C, Gonzalez-Juanatey JR, Rodriguez-Nunez A (2016) Very brief training for laypeople in hands-only cardiopulmonary resuscitation. Effect of real-time feedback. *Am J Emerg Med* 34(6):993–998. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2016.02.047>
58. Lee JH, Cho Y, Kang KH, Cho GC, Song KJ, Lee CH (2016) The effect of the duration of basic life support training on the learners' cardiopulmonary and automated external defibrillator skills. *Biomed Res Int* 2016:2420568. <https://doi.org/10.1155/2016/2420568>
59. Hunziker S, Buhlmann C, Tschan F et al (2010) Brief leadership instructions improve cardiopulmonary resuscitation in a high-fidelity simulation: a randomized controlled trial. *Crit Care Med* 38(4):1086–1091. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3181cf7383> (In eng)
60. Norris EM, Lockey AS (2012) Human factors in resuscitation teaching. *Resuscitation* 83(4):423–427. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2011.11.001> ((Review) (In eng))
61. Lauridsen KG, Watanabe I, Lofgren B et al (2020) Standardising communication to improve in-hospital cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 147:73–80. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.12.013>
62. Lau Y, Nyoe RSS, Wong SN, Hamid AZB, Leong BS, Lau ST (2018) Effectiveness of digital resuscitation training in improving knowledge and skills: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Resuscitation* 131:14–23. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.07.033>
63. Lockey AS, Dyal L, Kimani PK et al (2015) Electronic learning in advanced resuscitation training: the perspective of the candidate. *Resuscitation* 97:48–54. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.09.391>
64. Au K, Lam D, Garg N et al (2019) Improving skills retention after advanced structured resuscitation training: a systematic review of randomized controlled trials. *Resuscitation* 138:284–296. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.03.031>
65. Lehmann R, Thiessen C, Frick B et al (2015) Improving pediatric basic life support performance through blended learning with web-based virtual patients: randomized controlled trial. *J Med Internet Res* 17(7):e162. <https://doi.org/10.2196/jmir.4141>
66. Wisniewski B, Zierer K, Hattie J (2019) The power of feedback revisited: a meta-analysis of educational feedback research. *Front Psychol* 10:3087. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.03087>
67. Pedersen TH, Kasper N, Roman H et al (2018) Self-learning basic life support: a randomised controlled trial on learning conditions. *Resuscitation* 126:147–153. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.02.031>
68. Lin Y, Cheng A (2015) The role of simulation in teaching pediatric resuscitation: current perspectives. *Adv Med Educ Pract* 6:239–248. <https://doi.org/10.2147/AMEP.S64178>
69. Cheng M (2018) Letter to the editor. *J Can Acad Child Adolesc Psychiatry* 27(2):82 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29662518>)
70. Lemke DS, Fielder EK, Hsu DC, Doughty CB (2019) Improved team performance during pediatric Resuscitations after rapid cycle deliberate practice compared with traditional debriefing: a pilot study. *Pediatr Emerg Care* 35(7):480–486. <https://doi.org/10.1097/PEC.0000000000000940>
71. Hunt EA, Duval-Arnauld JM, Nelson-McMillan KL et al (2014) Pediatric resident resuscitation skills improve after “rapid cycle deliberate practice” training. *Resuscitation* 85(7):945–951. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.02.025>
72. Hunt EA, Duval-Arnauld JM, Chime NO et al (2017) Integration of in-hospital cardiac arrest contextual curriculum into a basic life support course: a randomized, controlled simulation study. *Resuscitation* 114:127–132. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.03.014>
73. Perkins GD, Hulme J, Bion JF (2002) Peer-led resuscitation training for healthcare students: a randomised controlled study. *Intensive Care Med* 28(6):698–700 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=12107673)
74. Beck S, Issleib M, Daubmann A, Zollner C (2015) Peer education for BLS-training in schools? Results of a randomized-controlled, noninferiority trial. *Resuscitation* 94:85–90. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.06.026>
75. Hughes TC, Jiwaji Z, Lally K et al (2010) Advanced Cardiac Resuscitation Evaluation (ACRE): a randomised single-blind controlled trial of peer-led vs. expert-led advanced resuscitation training. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 18:3. <https://doi.org/10.1186/1757-7241-18-3>
76. Yeung J, Kovic I, Vidacic M et al (2017) The school Lifesavers study—A randomised controlled trial comparing the impact of Lifesaver only, face-to-face training only, and Lifesaver with face-to-face training on CPR knowledge, skills and attitudes in UK school children. *Resuscitation* 120:138–145. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.08.010>
77. Leary M, Almodovar A Jr., Buckler DG, Bhardwaj A, Blewer AL, Abella BS (2019) Using an Immersive virtual reality system to assess lay provider response to an unannounced simulated sudden cardiac arrest in the out-of-hospital setting. *Simul Healthc* 14(2):82–89. <https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000338>
78. Siqueira TV, Nascimento J, Oliveira JLG, Regino D, Dalri MCB (2020) The use of serious games as an innovative educational strategy for learning cardiopulmonary resuscitation: an integrative review. *Rev Gaúcha Enferm* 41:e20190293. <https://doi.org/10.1590/1983-1447.2020.20190293>
79. Wanner GK, Phillips AW, Papanagnou D (2019) Assessing the use of social media in physician assistant education. *Int J Med Educ* 10:23–28. <https://doi.org/10.5116/ijme.5c14.ef82>
80. Zia Ziabari SM, Monsef Kasmaei V, Khashgozaran L, Shakiba M (2019) Continuous education of basic life support (BLS) through social media; a quasi-experimental study. *Arch Acad Emerg Med* 7(1):e4 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30847439>)

81. McGovern SK, Blewer AL, Murray A, Leary M, Abella BS, Merchant RM (2018) Characterizing barriers to CPR training attainment using Twitter. *Resuscitation* 127:164–167. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.03.010>
82. Katipoglu B, Akbas I, Kocak AO, Erbay MF, Turan EI, Kasali K (2019) Assessment of the accuracy of cardiopulmonary resuscitation videos in English on youtube according to the 2015 AHA resuscitation guidelines. *Emerg Med Int* 2019:1272897. <https://doi.org/10.1155/2019/1272897>
83. Beydilli H, Serinken M, Eken C et al (2016) The validity of youtube videos on pediatric BLS and CPR. *Telemed J E Health* 22(2):165–169. <https://doi.org/10.1089/tmj.2015.0037>
84. Metelmann B, Metelmann C, Schuffert L, Hahnenkamp K, Brinkroff P (2018) Medical correctness and user friendliness of available Apps for cardiopulmonary resuscitation: systematic search combined with guideline adherence and usability evaluation. *JMIR Mhealth Uhealth* 6(11):e190. <https://doi.org/10.2196/mhealth.9651>
85. Nickson CP, Cadogan MD (2014) Free Open Access Medical education (FOAM) for the emergency physician. *Emerg Med Australas* 26(1):76–83. <https://doi.org/10.1111/1742-6723.12191>
86. Edwards S, Roland D (2019) Learning from mistakes on social media. *Emerg Med Clin North Am* 36(8):453–455. <https://doi.org/10.1136/emered-2019-208501>
87. Arithra Abdullah A, Nor J, Baladas J et al (2019) E-learning in advanced cardiac life support: outcome and attitude among healthcare professionals. *Hong Kong J Emerg Med* 27(6):328–333. <https://doi.org/10.1177/1024907919857666>
88. Castillo García J, Cerdà Vila M, de Balanzó Fernández X, Riera QS, Ferrés-Amat E, Rodríguez Higuera E (2020) Standard basic life support training of the European Resuscitation Council versus blended training: a randomized trial of a new teaching method. *Emergencias* 32(1):45–48 (In eng spa)
89. Semeraro F, Ristagno G, Giulini G et al (2019) Back to reality: a new blended pilot course of basic life support with virtual reality. *Resuscitation* 138:18–19. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.02.034>
90. Perkins GD, Fullerton JN, Davis-Gomez N et al (2010) The effect of pre-course e-learning prior to advanced life support training: a randomised controlled trial. *Resuscitation* 81(7):877–881. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2010.03.019>
91. Perkins GD, Kimani PK, Bullock I et al (2012) Improving the efficiency of advanced life support training: a randomized, controlled trial. *Ann Intern Med* 157(1):19–28
92. Thorne CJ, Lockey AS, Bullock I et al (2015) E-learning in advanced life support—an evaluation by the Resuscitation Council (UK). *Resuscitation* 90:79–84. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.02.026>
93. Nestel D, Krogh KB, Kolbe M (2018) Exploring realism in healthcare simulations. *Healthcare simulation education: evidence, theory and practice*. Wiley-Blackwell, West Sussex
94. Beckers SK, Biermann H, Sopka S et al (2012) Influence of pre-course assessment using an emotionally activating stimulus with feedback: a pilot study in teaching Basic Life Support. *Resuscitation* 83(2):219–226. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2011.08.024>
95. Cheng A, Lockey A, Bhanji F, Lin Y, Hunt EA, Lang E (2015) The use of high-fidelity manikins for advanced life support training—A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation* 93:142–149. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.04.004>
96. Stellflug SM, Lowe NK (2018) The effect of high fidelity simulators on knowledge retention and skill self efficacy in pediatric advanced life support courses in a rural state. *J Pediatr Nurs* 39:21–26. <https://doi.org/10.1016/j.pedn.2017.12.006>
97. Rosen MA, DiazGranados D, Dietz AS et al (2018) Teamwork in healthcare: key discoveries enabling safer, high-quality care. *Am Psychol* 73(4):433–450. <https://doi.org/10.1037/amp0000298>
98. Cooper S, Wakelam A (1999) Leadership of resuscitation teams: “Lighthouse Leadership”. *Resuscitation* 42(1):27–45 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=10524729)
99. Peltonen V, Peltonen LM, Salanterä S et al (2020) An observational study of technical and non-technical skills in advanced life support in the clinical setting. *Resuscitation* 153:162–168. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2020.06.010>
100. Cooper S, Cant R, Porter J et al (2010) Rating medical emergency teamwork performance: development of the Team Emergency Assessment Measure (TEAM). *Resuscitation* 81(4):446–452. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2009.11.027> ((Research Support, Non-U.S. Gov't) (In eng))
101. Cooper S, Cant R, Connell C et al (2016) Measuring teamwork performance: validity testing of the Team Emergency Assessment Measure (TEAM) with clinical resuscitation teams. *Resuscitation* 101:97–101. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.01.026>
102. Kattwinkel J, Perlman JM, Aziz K et al (2010) Part 15: neonatal resuscitation: 2010 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* 122(18 Suppl 3):S909–S919. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.110.971119>
103. Cheng A, Eppich W, Grant V, Sherbino J, Zendejas B, Cook DA (2014) Debriefing for technology-enhanced simulation: a systematic review and meta-analysis. *Med Educ* 48(7):657–666. <https://doi.org/10.1111/medu.12432>
104. Kronick SL, Kurz MC, Lin S et al (2015) Part 4: systems of care and continuous quality improvement: 2015 American Heart Association guidelines update for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation* 132(18 Suppl 2):S397–S413. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000258>
105. Couper K, Salman B, Soar J, Finn J, Perkins GD (2013) Debriefing to improve outcomes from critical illness: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med* 39(9):1513–1523. <https://doi.org/10.1007/s00134-013-2951-7> (Research Support, Non-U.S. Gov't)
106. Kessler DO, Cheng A, Mullan PC (2015) Debriefing in the emergency department after clinical events: a practical guide. *Ann Emerg Med* 65(6):690–698. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2014.10.019>
107. Mullan PC, Kessler DO, Cheng A (2014) Educational opportunities with postevent debriefing. *JAMA* 312(22):2333–2334. <https://doi.org/10.1001/jama.2014.15741>
108. Rose S, Cheng A (2018) Charge nurse facilitated clinical debriefing in the emergency department. *CJEM* 20(5):781–785. <https://doi.org/10.1017/cem.2018.369>
109. Mullan PC, Cochrane NH, Chamberlain JM et al (2017) Accuracy of postresuscitation team debriefings in a pediatric emergency department. *Ann Emerg Med* 70(3):311–319. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2017.01.034>
110. Cheng A, Overly F, Kessler D et al (2015) Perception of CPR quality: Influence of CPR feedback, Just-in-Time CPR training and provider role. *Resuscitation* 87:44–50. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.11.015>
111. Cheng A, Kessler D, Lin Y et al (2019) Influence of cardiopulmonary resuscitation coaching and provider role on perception of cardiopulmonary resuscitation quality during simulated pediatric cardiac arrest. *Pediatr Crit Care Med* 20(4):e191–e198. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001871>
112. Couper K, Kimani PK, Davies RP et al (2016) An evaluation of three methods of in-hospital cardiac arrest educational debriefing: The cardiopulmonary resuscitation debriefing study. *Resuscitation* 105:130–137. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.05.005>
113. Edelson DP, Litzinger B, Arora V et al (2008) Improving in-hospital cardiac arrest process and outcomes with performance debriefing. *Arch Intern Med* 168(10):1063–1069. <https://doi.org/10.1001/archinte.168.10.1063> (In eng)
114. Wolfe H, Zebuhr C, Topjian AA et al (2014) Interdisciplinary ICU cardiac arrest debriefing improves survival outcomes. *Crit Care Med* 42(7):1688–1695. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000000327>
115. Bleijenberg E, Koster RW, de Vries H, Beesems SG (2017) The impact of post-resuscitation feedback for paramedics on the quality of cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 110:1–5. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.08.034>
116. Schneider M, Preckel F (2017) Variables associated with achievement in higher education: a systematic review of meta-analyses. *Psychol Bull* 143(6):565–600. <https://doi.org/10.1037/bul0000098>
117. Steinert Y, Mann K, Anderson B et al (2016) A systematic review of faculty development initiatives designed to enhance teaching effectiveness: a 10-year update: BEME Guide No. 40. *Med Teach* 38(8):769–786. <https://doi.org/10.1080/0142159X.2016.1181851>
118. Julian K, Appelle N, O’Sullivan P, Morrison EH, Wamsley M (2012) The impact of an objective structured teaching evaluation on faculty teaching skills. *Teach Learn Med* 24(1):3–7. <https://doi.org/10.1080/10401334.2012.641476>
119. Ogden PE, Edwards J, Howell M, Via RM, Song J (2008) The effect of two different faculty development interventions on third-year clerkship performance evaluations. *Fam Med* 40(5):333–338 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18465282>)
120. Breckwoldt J, Svensson J, Lingemann C, Gruber H (2014) Does clinical teacher training always improve teaching effectiveness as opposed to no teacher training? A randomized controlled study. *BMC Med Educ* 14:6. <https://doi.org/10.1186/1472-6920-14-6>
121. Kaye W, Rallis SF, Mancini ME et al (1991) The problem of poor retention of cardiopulmonary resuscitation skills may lie with the instructor, not the learner or the curriculum. *Resuscitation* 21(1):67–87
122. Parnell MM, Larsen PD (2007) Poor quality teaching in lay person CPR courses. *Resuscitation* 21(1):67–87

- tation 73(2):271–278. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2006.09.008> (In eng)
123. Wagner P, Lingemann C, Arntz HR, Breckwoldt J (2015) Official lay basic life support courses in Germany: is delivered content up to date with the guidelines? An observational study. *Emerg Med Clin North Am* 32(7):547–552. <https://doi.org/10.1136/emered-2014-203736>
 124. Breckwoldt J, Lingemann C, Wagner P (2016) Resuscitation training for lay persons in first aid courses: transfer of knowledge, skills and attitude. *Anaesthetist* 65(1):22–29. <https://doi.org/10.1007/s00101-015-0113-8>
 125. Lukas RP, Van Aken H, Molhoff T et al (2016) Kids save lives: a six-year longitudinal study of schoolchildren learning cardiopulmonary resuscitation: Who should do the teaching and will the effects last? *Resuscitation* 101:35–40. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.01.028>
 126. Coles CR, Tomlinson JM (1994) Teaching student-centred educational approaches to general practice teachers. *Med Educ* 28(3):234–238. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.1994.tb02704.x>
 127. Hewson MG (2000) A theory-based faculty development program for clinician-educators. *Acad Med* 75(5):498–501. <https://doi.org/10.1097/00001888-200005000-00024>
 128. Sheets KJ, Henry RC (1988) Evaluation of a faculty development program for family physicians. *Med Teach* 10(1):75–83. <https://doi.org/10.3109/01421598809019328>
 129. Litzelman DK, Stratos GA, Marriott DJ, Lazaridis EN, Skeff KM (1998) Beneficial and harmful effects of augmented feedback on physicians' clinical-teaching performances. *Acad Med* 73(3):324–332 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9526460>)
 130. Molloy E, Ajjawi R, Bearman M, Noble C, Rudland J, Ryan A (2020) Challenging feedback myths: Values, learner involvement and promoting effects beyond the immediate task. *Med Educ* 54(1):33–39. <https://doi.org/10.1111/medu.13802>
 131. van de Ridder JM, McGaghie WC, Stokking KM, ten Cate OT (2015) Variables that affect the process and outcome of feedback, relevant for medical training: a meta-review. *Med Educ* 49(7):658–673. <https://doi.org/10.1111/medu.12744>
 132. Ro YS, Shin SD, Song KJ et al (2016) Public awareness and self-efficacy of cardiopulmonary resuscitation in communities and outcomes of out-of-hospital cardiac arrest: a multi-level analysis. *Resuscitation* 102:17–24. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.02.004>
 133. Ericsson KA (2004) Deliberate practice and the acquisition and maintenance of expert performance in medicine and related domains. *Acad Med* 79(10):S70–S81 (In eng)
 134. Ward M, Gruppen L, Regehr G (2002) Measuring self-assessment: current state of the heart. *Adv Health Sci Educ Theory Pract* 7(1):63–80. <https://doi.org/10.1023/a:1014585522084>
 135. Chaffey LJ, de Leeuw EJ, Finnigan GA (2012) Facilitating students' reflective practice in a medical course: literature review. *Educ Health* 25(3):198–203. <https://doi.org/10.4103/1357-6283.109787>
 136. Brydges R, Butler D (2012) A reflective analysis of medical education research on self-regulation in learning and practice. *Med Educ* 46(1):71–79. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2011.04100.x>
 137. Yee LW (2016) Peer coaching for improvement of teaching and learning. *J Interdiscip Res Educ* 6(1):64–70
 138. Cruess RL, Cruess SR, Steinert Y (2018) Medicine as a community of practice: implications for medical education. *Acad Med* 93(2):185–191. <https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000001826>
 139. Camp BN, Parish DC, Andrews RH (1997) Effect of advanced cardiac life support training on resuscitation efforts and survival in a rural hospital. *Ann Emerg Med* 29(4):529–533. [https://doi.org/10.1016/s0196-0644\(97\)70228-2](https://doi.org/10.1016/s0196-0644(97)70228-2)
 140. Dane FC, Russell-Lindgren KS, Parish DC, Durham MD, Brown TD (2000) In-hospital resuscitation: association between ACLS training and survival to discharge. *Resuscitation* 47(1):83–87 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/htbin-post/Entrez/query?db=m&form=6&dopt=r&uid=11004384>)
 141. Lowenstein SR, Sabyan EM, Lassen CF, Kern DC (1986) Benefits of training physicians in advanced cardiac life support. *Chest* 89(4):512–516. <https://doi.org/10.1378/chest.89.4.512>
 142. Makker R, Gray-Siracusa K, Evers M (1995) Evaluation of advanced cardiac life support in a community teaching hospital by use of actual cardiac arrests. *Heart Lung* 24(2):116–120 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=7759271)
 143. Moretti MA, Cesar LA, Nusbacher A, Kern KB, Timerman S, Ramires JA (2007) Advanced cardiac life support training improves long-term survival from in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 72(3):458–465. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2006.06.039> (In eng)
 144. Pottle A, Brant S (2000) Does resuscitation training affect outcome from cardiac arrest? *Accid Emerg Nurs* 8(1):46–51
 145. Sanders AB, Berg RA, Burrell M, Genova RT, Kern KB, Ewy GA (1994) The efficacy of an ACLS training program for resuscitation on cardiac arrest in a rural community. *Ann Emerg Med* 23(1):56–59 (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=8273960)
 146. Sodhi K, Singla MK, Shrivastava A (2011) Impact of advanced cardiac life support training program on the outcome of cardiopulmonary resuscitation in a tertiary care hospital. *Indian J Crit Care Med* 15(4):209–212. <https://doi.org/10.4103/0972-5229.92070>
 147. Patel A, Khatib MN, Kurhe K, Bhargava S, Bang A (2017) Impact of neonatal resuscitation trainings on neonatal and perinatal mortality: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Paediatr Open* 1(1):e183. <https://doi.org/10.1136/bmjpo-2017-000183>
 148. Bang AT, Bang RA, Baitule SB, Reddy MH, Deshmukh MD (1999) Effect of home-based neonatal care and management of sepsis on neonatal mortality: field trial in rural India. *Lancet* 354(9194):1955–1961. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(99\)03046-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(99)03046-9)
 149. Gill CJ, Phiri-Mazala G, Guerina NG et al (2011) Effect of training traditional birth attendants on neonatal mortality (Lufwanyama Neonatal Survival Project): randomised controlled study. *BMJ* 342:d346. <https://doi.org/10.1136/bmj.d346>
 150. Abu-Zidan FM (2016) Advanced trauma life support training: how useful it is? *World J Crit Care Med* 5(1):12–16. <https://doi.org/10.5492/wjccm.v5.i1.12>
 151. Mohammad A, Branicki F, Abu-Zidan FM (2014) Educational and clinical impact of Advanced Trauma Life Support (ATLS) courses: a systematic review. *World J Surg* 38(2):322–329. <https://doi.org/10.1007/s00268-013-2294-0>
 152. Jayaraman S, Sethi D, Chinnock P, Wong R (2014) Advanced trauma life support training for hospital staff. *Cochrane Database Syst Rev*. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004173.pub4>
 153. Morley PT, Atkins DL, Billi JE et al (2010) Part 3: evidence evaluation process: 2010 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Resuscitation* 81(Suppl 1):e32–e40. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2010.08.023>
 154. Turner NM, Dierselhuis MP, Draaisma JM, ten Cate OT (2007) The effect of the Advanced Paediatric Life Support course on perceived self-efficacy and use of resuscitation skills. *Resuscitation* 73(3):430–436. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2006.10.018>
 155. Hunziker S, Semmer NK, Tschan F, Schuetz P, Mueller B, Marsch S (2012) Dynamics and association of different acute stress markers with performance during a simulated resuscitation. *Resuscitation* 83(5):572–578. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2011.11.013>
 156. Amacher SA, Schumacher C, Legeret C et al (2017) Influence of gender on the performance of cardiopulmonary rescue teams: a randomized, prospective simulator study. *Crit Care Med* 45(7):1184–1191. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000002375>
 157. Tramer L, Becker C, Schumacher C et al (2020) Association of self-esteem, personality, stress and gender with performance of a resuscitation team: a simulation-based study. *PLoS ONE* 15(5):e233155. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233155>
 158. Anderson CR, Taira BR (2018) The train the trainer model for the propagation of resuscitation knowledge in limited resource settings: a systematic review. *Resuscitation* 127:1–7. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.03.009>
 159. Garden AL, Le Fevre DM, Waddington HL, Weller JM (2015) Debriefing after simulation-based non-technical skill training in healthcare: a systematic review of effective practice. *Anaesth Intensive Care* 43(3):300–308. <https://doi.org/10.1177/0310057X1504300303>

Hansestadt LÜBECK 



Wir suchen eine/n

Teamleitung Ausbildung Notfallsanitäter/-innen

für den Bereich Berufsfeuerwehr der Hansestadt Lübeck.

Aufgaben:

Teamleitung der Lehrkräfte in der Notfallsanitäter/-innen-Ausbildung, verantwortliche Mitwirkung bei der Erstellung und Pflege des Curriculums für die Notfallsanitäter/-innen-Ausbildung u.v.m.

Anforderungsprofil:

abgeschlossenes wissenschaftliches Hochschulstudium in einem für die Vermittlung von Kenntnissen in der Ausbildung relevantem Fach (Diplom, Master oder gleichwertiger Abschlussgrad) (z. B. Medizinpädagogik, Naturwissenschaften, Hebammenwissenschaften, Pflege- und Gesundheitswissenschaften, Physiotherapie, Ergotherapie, Psychologie, o. Ä.). Alternativ erwerben Sie diesen Abschluss bis im Sommersemester 2021

Entgeltgruppe 13 TVöD – Bewerbungsschluss 27.06.2021

Näheres zu den Aufgaben und zum Anforderungsprofil etc. finden Sie unter www.luebeck.de/jobs und unter www.berufe-sh.de; Bewerbungen bitte online über www.interamt.de (ID 673303).

Qualifizierte Frauen werden ausdrücklich aufgefordert sich zu bewerben.

Ausdrücklich begrüßen wir es, wenn sich Menschen mit Migrationshintergrund bei uns bewerben.



WILLKOMMEN BEI UNS ALS Oberarzt (w/m/d) für die zentrale Notaufnahme



PERSÖNLICH.
INNOVATIV.
KOMMUNAL.

im St. Elisabethen-Klinikum Ravensburg
zum nächstmöglichen Zeitpunkt in Voll- oder Teilzeit.

Die zentrale Notaufnahme ist in der Stufe der umfassenden Notfallversorgung eine fachlich und organisatorisch eigenständige Einheit. Zusammen mit der Kindernotaufnahme in unmittelbarer Nähe versorgen wir gut 38.000 Patienten pro Jahr. Eine Kurzlagerstation mit 18 Betten ist direkt angegliedert. Das EK ist akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Ulm, verfügt über eine Stroke Unit, ein überregionales Traumazentrum und ist SAPV-Haus.

Sie passen zu uns:

- wenn Sie die Facharztqualifikation in Anästhesie, Allgemeinchirurgie, Unfallchirurgie oder Orthopädie besitzen
- wenn Sie die Zusatzbezeichnung „Klinische Akut- und Notfallmedizin“ mitbringen oder diese erwerben möchten
- wenn Sie Freude an der interdisziplinären Notfallversorgung und Patientensteuerung sowie an der engen Zusammenarbeit sowohl mit den Fachkliniken des Hauses als auch mit den niedergelassenen Ärzten und Rettungsdiensten haben
- wenn Sie eine verantwortungsvolle und abwechslungsreiche Tätigkeit mit Gestaltungsmöglichkeiten suchen

Unser Plus als Arbeitgeber

- Vergütung nach TV-Ärzte/VKA
- sicherer Arbeitsplatz in kommunal getragenen Unternehmen
- Zusatzversorgungskasse des öffentlichen Dienstes
- Lebensarbeitszeitmodell mit Zeitwertkonto
- verbindliche Urlaubsplanung
- umfassende Fortbildungsmöglichkeiten
- Zusatzleistungen wie Gesundheitsförderung und JobRad
- Tätigkeit in einer ansprechenden Region mit guter Infrastruktur und hohem Freizeitwert, insbesondere auch für Familien

Ravensburg (50.000 Einwohner) liegt im landschaftlich reizvollen und wirtschaftlich starken Oberschwaben nahe Bodensee und Alpen. Alle Schul- und viele Hochschulangebote sind am Ort.

Fragen beantwortet Chefärztin Dr. Kerstin Kunz, Tel. 0751/87-2269 (Leitstelle ZNA).

Bewerbungen unter der Kennziffer RV 114 an die Oberschwabenklinik gGmbH, Personalabteilung, Melanie Huber, Postfach 21 60, 88191 Ravensburg, bewerbung@oberschwabenklinik.de.



WWW.OBERSCHWABENKLINIK.DE

SIE SIND UNSERE RETTUNG

WIR SUCHEN SIE ALS LEITENDEN OBER- ARZT (M/W/D)

für unsere Notfallaufnahme an unserem Klinikstandort Ilmenau.

BEI UNS FINDEN SIE:

- eine vielseitige und eigenverantwortliche Tätigkeit mit Raum für Ihre Ideen.
- ein Team, auf das Sie zählen können.
- eine attraktive Vergütung (Entgelt analog TV-Ärzte-VKA) und Weiterbildungsmöglichkeiten
- die Möglichkeit, auch als Notarzt tätig zu sein.

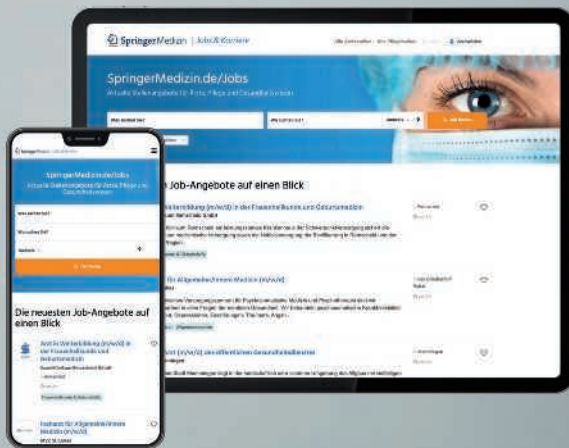
ALLES ZUR STELLE
FINDEN SIE UNTER:



 **Ilm-Kreis-Kliniken**
Arnstadt-Ilmenau gGmbH
www.ilm-kreis-kliniken.de

Wir freuen uns über Ihre Bewerbung per Email an:
aed@ilm-kreis-kliniken.de

Anästhesist/in
Oberarzt/-ärztin
Chirurg/in
Internist/in
Facharzt/-ärztin
Assistenzarzt/-ärztin
Chefarzt/-ärztin



Der Touchpoint für Karrieren

Stellenanzeigen, die etwas bewegen

[SpringerMedizin.de/Jobs](https://www.springermedizin.de/jobs)

Telefon: 06102/506-164

E-Mail: stellenanzeigen@springer.com



Hier startet Ihre Geschichte!



Wir sind mehr als 350 Ärzt*innen, die täglich Geschichten erleben, die das Leben an der Westküste schreibt. Wir behandeln nicht nur Menschen, die im Watt verunglücken, beim Urlaub auf Helgoland frühzeitig Wehen bekommen oder – wie überall anderswo auch – Menschen, die in Not sind. Wir arbeiten im drittgrößten Krankenhaus Schleswig-Holsteins – mittlerweile zum 8. Mal in Folge zum glücklichsten aller Bundesländer gewählt – und setzen unsere Pläne um: vom Integrierten Versorgungszentrum über das Perinatalzentrum Level I bis hin zum Adipositas-Zentrum.

Zur Verstärkung unseres Teams der Westküstenkliniken Brunsbüttel und Heide gGmbH am Standort Heide suchen wir zum nächstmöglichen Zeitpunkt für die Klinik für Interdisziplinäre Notfallmedizin einen

Facharzt (m/w/d) oder Assistenzarzt (m/w/d) mit Interesse an der klinischen Notfallmedizin

Wenn schnelle Hilfe gefragt ist ...

In unserer cheffärtlich geleiteten Abteilung für Interdisziplinäre Notfallmedizin arbeiten wir interdisziplinär und interprofessionell und streben eine hochwertige und empathische Notfall- und Akutmedizin an. Hierfür steht uns eine großzügig ausgestattete Notaufnahme mit 16 Behandlungsplätzen und moderner EDV-Ausstattung zur Verfügung. Eine KV-Anlaufpraxis ist außerhalb der KV-Sprechzeiten etabliert. Am Notfallstufenkonzept nehmen wir in der höchsten Versorgungsstufe teil. Eine Weiterbildungsbefugnis für die Zusatzweiterbildung Klinische Akut- und Notfallmedizin ist bei der Ärztekammer Schleswig-Holstein beantragt. Seien Sie dabei, wenn es darauf ankommt: Bei uns können Sie am Rettungsdienst teilnehmen.

Sie wollen uns unterstützen?

Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung an jobs@wkk-hei.de.

Für fachliche Fragen steht Ihnen gern unser Chefarzt Dr. med. Lutz Bartz (Lbartz@wkk-hei.de, Tel. 0481 785-1490) zur Verfügung. Fragen zum Arbeitsverhältnis beantwortet Ihnen gern unsere Personalreferentin Alina Schmale (aschmale@wkk-hei.de, Tel. 0481 785-1039).

Fühlen Sie sich eingeladen und lernen Sie unsere Klinik und das Team unverbindlich an einem Hospitationstag kennen.

Jetzt Teil der Geschichte werden: www.wkk-online.de/a-team

Westküstenkliniken Brunsbüttel und Heide gGmbH
Personalabteilung | Esmarchstraße 50 | 25746 Heide



Springer Medizin

SpringerMedizin.de

Anästhesist/in
Oberarzt/-ärztin
Chirurg/in
Internist/in
Facharzt/-ärztin
Assistenzarzt/-ärztin
Chefarzt/-ärztin



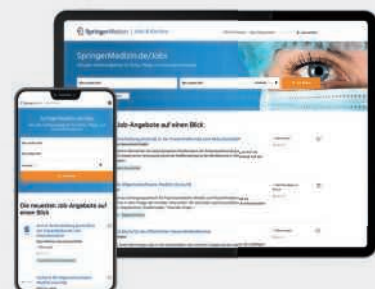
Der Touchpoint für Karrieren

Stellenanzeigen, die etwas bewegen

SpringerMedizin.de/Jobs

Telefon: 06102/506-164

E-Mail: stellenanzeigen@springer.com



Jetzt zugreifen!

SONDERHEFTE
Facharzt-Training Anästhesiologie

- Fallbeispiele mit typischen Prüfungsfragen und Antworten
- Kompaktes Wissen aus der AINS
- Machen Sie sich fit für die Facharztprüfung mit Heft 1 & 2
- Für Assistenz- und Fachärzte!



NEU – Heft 2 mit 25 weiteren Fällen

[Bit.ly/Sonderheft-Anaesthesist](https://bit.ly/Sonderheft-Anaesthesist)

- Ja, ich bestelle das Sonderheft **Facharzt-Training Anästhesiologie, Heft 1** zum Preis von 42 €.
- Ja, ich bestelle das Sonderheft **Facharzt-Training Anästhesiologie, Heft 2** zum Preis von 42 €.
- Ja, ich bestelle die Sonderhefte **Facharzt-Training Anästhesiologie, Heft 1 + Heft 2** zum Preis von 75 €.

Preise inkl. gesetzl. MwSt. und Versandkosten. Bezahlung gegen Rechnung. Die Rechnung erhalten Sie auf separatem Postweg.

Faxantwort: +49 (0) 6221 3454 229

Oder einsenden an:
 Springer Nature Customer Service
 Center GmbH Leserservice
 Tiergartenstr. 15-17
 69121 Heidelberg
 Leserservice@springer.com

Name, Vorname

Straße, Hausnummer

Land, Plz, Ort

E-Mail

Datum, Unterschrift

Bei der Bestellung des Sonderheftes besteht kein Widerrufsrecht. Ich habe die Allgemeinen Geschäftsbedingungen gelesen und erkläre mich mit ihnen einverstanden. Link zu den Geschäftsbedingungen: <https://www.springermedizin.de/agb/45332>

Hinweise zur Verarbeitung personenbezogener Daten gemäß Art. 13 Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO): Verantwortlicher: Springer Medizin Verlag GmbH, Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, E-Mail: leserservice@springermedizin.de. Gegenstand der Verarbeitung: Name, Adresse, Vertragsdaten. Zwecke der Verarbeitung: Durchführung vorvertraglicher Maßnahmen und Erfüllung eines Vertrages (Rechtsgrundlage: Art. 6 Abs. 1 Buchst. b DSGVO); Wahrung berechtigter Interessen (Rechtsgrundlage: Art. 6 Abs. 1 Buchst. f DSGVO), nämlich Direktwerbung für unsere Angebote. Sie können der Verarbeitung Ihrer Daten für Zwecke der Direktwerbung jederzeit widersprechen. Die Bereitstellung Ihrer Daten ist erforderlich, um Sie beliefern zu können. Wir geben Ihre Daten an Dienstleister weiter, soweit dies zur Erfüllung von Verträgen erforderlich ist. Wir speichern Ihre Daten, solange sie für die genannten Zwecke erforderlich sind. Sie haben folgende Rechte: Recht auf Auskunft über die Sie betreffenden personenbezogenen Daten, Recht auf Berichtigung oder Löschung oder auf Einschränkung der Verarbeitung, Widerspruchsrecht gegen die Verarbeitung, Recht auf Datenübertragbarkeit, Beschwerderecht bei einer Aufsichtsbehörde. Weitere Informationen: <https://www.springermedizin.de/datenschutz>

Springer Medizin Verlag GmbH | Tiergartenstraße 17 | 69121 Heidelberg | Teil der Fachverlagsgruppe SpringerNature | Springer Medizin Verlag GmbH | Amtsgericht Berlin-Charlottenburg | HRB 91881 B | Geschäftsführer: Joachim Krieger, Fabian Kaufmann

Verlag: Springer Medizin Verlag GmbH, Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin (Betriebsstätte Heidelberg: Springer Medizin Verlag GmbH, Tiergartenstraße 17, 69121 Heidelberg; Tel. +49 6221/487-0), www.springermedizin.de
Geschäftsführung: Joachim Krieger, Fabian Kaufmann
Director Journals & e Publishing: Dr. med. Paul Herrmann (v.i.S.d.P.)
Head of Journals & ePublishing 3: Dr. med. Nataša Djordjević
Director Editorial Processes: Dr. Frank Sommerauer
Head of Educational Publishing: Martina Siedler
Managing Editor: „Notfall + Rettungsmedizin“: Dr. Ines Wolff, Tel. -8505, Fax -68505, ines.wolff@springer.com
Project Coordinator: Stefanie Heinz, Tel. -9001, stefanie.heinz@springernature.com
Gesamtleitung Corporate Publishing: Ulrike Hafner (Adressdaten jeweils wie Betriebsstätte Heidelberg)
Leitung Herstellung: Ulrike Drechsler
Anzeigen: Jens Dessin (Leitung Sales & Advertising); Sabine Nees (Anzeigenleitung, verantwortlich), sabine.nees@springer.com, Springer Medizin Verlag GmbH, Tiergartenstraße 17, 69121 Heidelberg Tel. +49 6221/487-8106, www.mediadaten.springermedizin.de
Druck: Wilco B.V., Vanadiumweg 9, NL-3812 PX Amersfoort, Printed in the Netherlands
Erscheinungsweise: 8 Ausgaben pro Jahr
Papierausgabe: ISSN 1434-6222, gedruckt auf säurefreiem Papier.
Elektr. Ausgabe: ISSN 14364-0578. Die elektronische Version finden Sie unter www.springermedizin.de/notfall-und-rettungsmedizin.
 Hinsichtlich der aktuellen Version eines Beitrags prüfen Sie bitte immer die Online-Version der Publikation.
Eigentümer & Copyright: © Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2021
 Die Zeitschrift sowie alle in ihr enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.
 Für die in dieser Zeitschrift als Sonderteil enthaltenen Mitteilungen der Gesellschaften GRC, ARC, agsw, DGINA und DBRD sind die Springer Medizin Verlag GmbH und die oben angegebenen Personen nicht verantwortlich. Die diesbezüglichen Verantwortlichkeiten ergeben sich aus dem gesonderten Impressum in den Mitteilungen der jeweiligen Gesellschaften.
Bezugspreise: Preis für ein Individualabonnement inkl. Online-Basis-Lizenz 2021: (8 Hefte) EUR 189,- (unverb. Preisempfehlung inkl. gesetzlicher MwSt.) zzgl. Versandkosten (Deutschland: EUR 31,-, Ausland: EUR 49,-). **Einzelheftpreis 2021:** EUR 45,- (unverb. Preisempfehlung inkl. gesetzlicher MwSt.) zzgl. Versandkosten.
Vorzugspreis für Ärzt*innen in Aus- und Weiterbildung, Rettungsassistenten, Rettungsassistenten und Notfallsanitäter inkl. Online-Basis-Lizenz 2021 (8 Hefte) EUR 113,40 (unverb. Preisempfehlung inkl. gesetzlicher MwSt.) zzgl. Versandkosten (Deutschland: EUR 31,-, Ausland: EUR 49,-).
Institutspreis inkl. Online-Basis-Lizenz 2021: (8 Hefte) EUR 418,- (unverb. Preisempfehlung zzgl. gesetzlicher MwSt. und Versandkosten, Deutschland: EUR 31,-, Ausland: EUR 49,-). Der Bezugspreis ist im Voraus zu zahlen. Das Abonnement kann bis 30 Tage vor Ende des Bezugszeitraums gekündigt werden.

Vorschau Heft 5 · August 2021

Leitthema

Radiologische Diagnostik in der Notfallmedizin

Redaktion: M.-A. Weber · S. Wirth · M. Christ

Short communication

– Der neue § 2a im Notfallsanitätergesetz – endlich!

Originalien

- Patientenzahlen im Rahmen der COVID-19-Pandemie in einer zentralen Notaufnahme
- Evaluation psychischer Belastungssituationen der Smartphone-basierten Ersthelferalarmierung „Mobile Retter“

Kontakt

Haben Sie Fragen, Anmerkungen, Lob oder Kritik?

So erreichen Sie den Verlag:

Fragen zum Abonnement / Adressänderungen / Online-Zugang

Springer Nature Customer Service Center GmbH
 Tiergartenstraße 15, 69121 Heidelberg
 Tel.: +49 (0)6221/345-0, Fax: +49 (0)6221/345-4229,
 Montag bis Freitag, 9.00 Uhr bis 17.00 Uhr
 E-Mail: Leserservice@springernature.com

Wichtiger Hinweis: Zeitschriften werden nicht automatisch im Rahmen eines Nachsendeantrags berücksichtigt. Bitte informieren Sie unseren Kundenservice daher frühzeitig über Adressänderungen.

Redaktion Springer Medizin Verlag:

Dr. Ines Wolff
 Springer Medizin Verlag GmbH,
 Tiergartenstraße 17, 69121 Heidelberg
 Tel.: +49 (0)6221/487-8505
 E-Mail: ines.wolff@springer.com

Bestellungen oder Rückfragen nimmt jede Buchhandlung oder der Verlag entgegen.

Springer Customer Service Center GmbH,
 Tiergartenstraße 15, 69121 Heidelberg, Tel. +49 6221/345-0,
 Fax +49 6221/345-4229, leserservice@springernature.com
 (Mo.–Fr. 9.00 Uhr bis 17.00 Uhr)

Autor*innen können unter bestimmten Voraussetzungen an der Ausschüttung der Bibliotheks- und Fotokopiertantiemen teilnehmen. Einzelheiten bei VG WORT, Abt. Wissenschaft, Goethestraße 49, 80336 München.

Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen sind anhand anderer Literaturstellen oder der Packungsbeilage auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. Der Verlag übernimmt keine Gewähr.

Gendgerechte Sprache: Der Verlag veröffentlicht die Beiträge in der von den Autor*innen gewählten Genderform. Die Verwendung einer angemessenen gendergerechten Sprache, um Menschen in ihrer Vielfalt wertschätzend anzusprechen, wird begrüßt.

Konzepte-Stellungnahmen-Perspektive

- Krankenhausalarm- und Einsatzplanung – Empfehlung für eine modulare Materialvorhaltung für den Massenansturm von Verletzten

Teamwork+Education

- Medikation bei Anaphylaxie im Notfall
- Einfach und praktisch: das pädiatrische Beurteilungsdreieck

CME Zertifizierte Fortbildung

Übelkeit und Erbrechen als Symptome in der Notfallmedizin

(Änderungen vorbehalten)



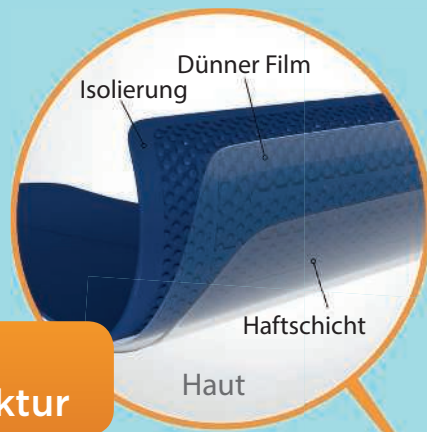
NEU: Malteser erkennen CME-Beitrag als Fortbildung an!

Fortbildung für das nichtärztliche Rettungsdienstfachpersonal

- 1 CME Beitrag \triangleq 1,5 Fortbildungsstunden
- Max. 10 Fortbildungsstunden jährlich
- Teilnahmebescheinigungen einfach dem Arbeitgeber vorlegen

Themen der kommenden CME:

- Gelenkluxationen
- Augenverletzungen
- Akutverletzungen des Gehirns
- Gewalt im Rettungsdienst
- Kind und Fieber
- Neuroradiologie
- Kindertrauma
- Übelkeit und Erbrechen



Patentierte dreischichtige Struktur



Arctic Sun™ 5000 Temperaturmanagement-System

Deutschland BD · C. R. Bard GmbH · Wachhausstr. 6 · 76227 Karlsruhe · t: +49.721.9445.124 · f: +49.721.9445.100
Österreich BD · Bard Medica S.A. · Rinnböckstr. 3 · 1030 Wien · t: +43.1.49.49.130 · f: +43.1.49.49.130.30
Schweiz BD · Bard Medica S.A. · Binningerstr. 94 · 4123 Allschwil · t: +41.61.485.22.99 · f: +41.61.485.22.15



bd.com

crbard.com