

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, Belgium; 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 Thrombozytenkonzentraten).
- 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, Nasenflügeln 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.
- 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 Bewusstseinsstörung, bei der vollständig erhaltene Schutzreflexe unwahrscheinlich sind.
 - die Pupillengröße, Symmetrie und Reaktivität gegenüber Licht.

- das Vorhandensein von Beuge- oder Strecksynergismen 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 Bildgebung.

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 Würgereflex.
 - 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 pulsoxymetrische Sättigung SpO_2 (oder den arteriellen Sauerstoffpartialdruck [PaO_2]) genau zu messen: Starten Sie die Sauerstofftherapie, wenn die $\text{SpO}_2 < 94\%$ liegt.

Ziel ist es, einen SpO_2 von 94 % oder mehr mit möglichst wenig zusätzlichem FiO_2 (Anteil an eingeatmetem Sauerstoff) zu erreichen. Anhaltende SpO_2 -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, SpO_2 oder PaO_2 genau zu messen: Starten Sie die Sauerstofftherapie mit hohem FiO_2 , basierend auf klinischen Anzeichen von Kreislauf- oder respiratorischem Versagen, und titrieren Sie die Sauerstofftherapie, sobald SpO_2 und/oder PaO_2 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 FiO_2 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 ($> 10 \text{ cmH}_2\text{O}$) und Standardoptimierungsmaßnahmen kann eine permissive Hypoxämie (Ziel der Sauerstoffversorgung auf SpO_2 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 CO_2 Messung oder den venösen Kohlendioxidpartialdruck ($PvCO_2$) nur als Ersatz für arterielles $PaCO_2$, nachdem eine Korrelation nachgewiesen wurde.
- Die **Beutel-Maske-Beatmung (BMV)** ist die primär empfohlene Therapie zur Beatmungsunterstützung.
 - Stellen Sie eine korrekte Kopfhaltung 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 $25 \text{ cmH}_2\text{O}$).
 - 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 SpO_2 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 – Kopfhaltung)
 - **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 SpO_2 .
 - 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 PaCO_2 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 SpO_2 von 94–98 % zu erreichen. Geben Sie Sauerstoff in hoher Dosis, wenn die SpO_2 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- FiO_2 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 bewussten 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 septischen 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 Etomidat 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 Herzbeuteltamponade (Perikardtamponade). Eine Herzbeuteltamponade 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 Phosphenytoin)
 - 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, asymptomatische Hypoglykämie kann mit einer Standardglukosegabe 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 Zusammenhang 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

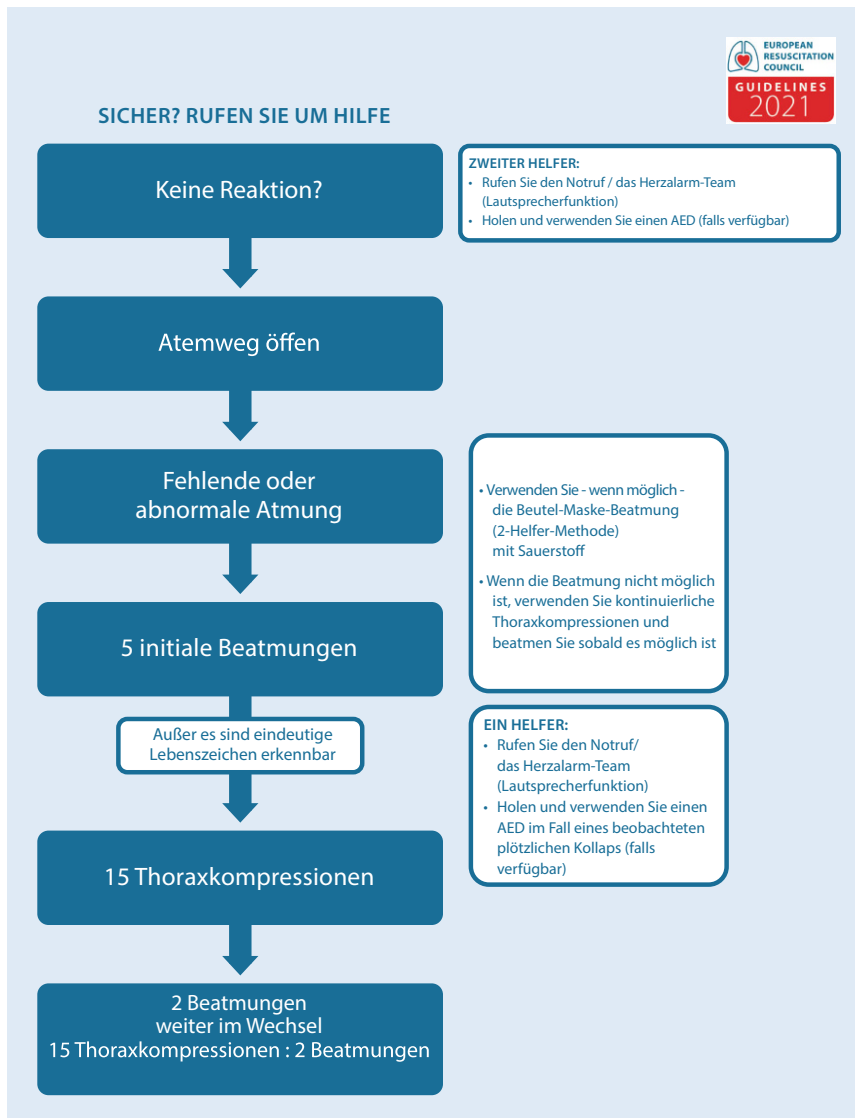


Abb. 2 ▲ Basismaßnahmen des Paediatric Life Supports (PBL)

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 Munds 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

sionen 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-

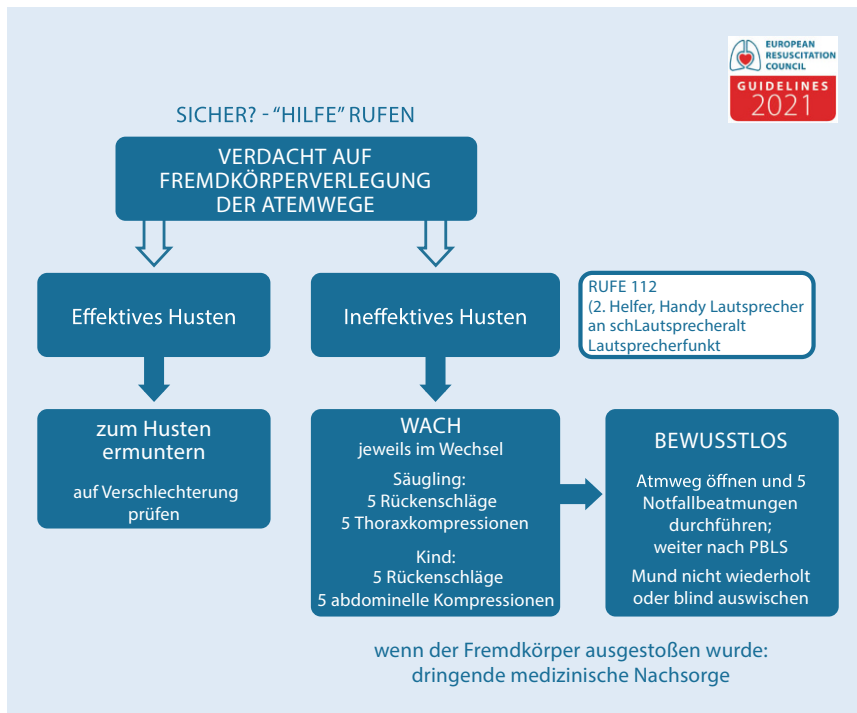


Abb. 3 ▲ Fremdkörperaspiration (FBAO)

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, Unfä-

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

Rhythmusbeurteilung

Schockbar

1 Schock 4 J/kg KG

Unmittelbares Fortsetzen der CPR für 2 Minuten
Unterbrechungen minimieren
Nach dem 3. Schock:
i.v./i.o. Amiodaron 5 mg/kg KG (max. 300 mg)
i.v./i.o. Adrenalin 10 µg/kg KG (max. 1 mg)

Nicht schockbar

i.v./i.o. Adrenalin 10 µg/kg
KG (max. 1 mg) so schnell
wie möglich verabreichen

Unmittelbares Fortsetzen
der CPR für 2 Minuten
Unterbrechungen minimieren

Wiedererlangen
eines Spontan-
kreislaufs
(ROSC)

Beenden
der Wieder-
belebungs-
maßnahmen

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
- Herzbeutel tamponade
- 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

Zange 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 (FiO_2 1,0).* Titrieren Sie nicht das FiO_2 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 etCO_2 -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 FiO_2 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 FiO_2 auf ein SpO_2 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 etCO_2 -Werte weder als Qualitätsindikator noch als Zielgröße eingesetzt werden. Außerdem sollen sie nicht als Hinweis für oder gegen eine Fortsetzung der Wiederbelebungsmaßnahmen 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; Herzbeutelamponade; 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, Herzbeuteltamponade 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, parallel

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. $\text{MAD} < 5^{\text{te}}$ 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 PaCO_2 zu erzielen. Vermeiden Sie sowohl Hypokapnie als auch Hyperkapnie. Bei einigen Kindern können die üblichen Werte für PaCO_2 und PaO_2 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 warmen 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 PaO_2 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 SpO_2 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 Puls-oxymetrie 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-ebene 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 Herzbeuteltamponade, dilatativer Kardiomyopathien, angeborener Herzkrankheiten 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) abzurechnen, 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 Uminubationen, 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 Atemantrieb

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 elektrooptischen Visualisierungshilfen (Venensuchgeräte) 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 peripher-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 angewendeter 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 isotonisches Magnesiumsulfat als vernebelte 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 ausreichenden 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 Herzbeuteltamponaden. Es gibt eine schwache Evidenz dafür, dass sich das Überleben verbesserte, wenn die Herzbeuteltamponade 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 Parasympathikustonus 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]. Jüngeres 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 – PBLs – 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

empfohl 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 Atemzugvolumen (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 häufiger 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 24 h 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 24 h 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. Telefonunterstützte 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 Überlebensvorteil 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 Wiederbelebungsmaßnahmen 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 etCO_2 , den Blutdruck und die SpO_2 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 können [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 Einzelhelfern 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 Zwei-Daumen-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 PBLs

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 zeigen, 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 ($\geq 85\%$) mit einer Energiedosis im Bereich zwischen 2 und 7 J/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 2 J/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 4 J/kgKG wurden Kinder ef-

ektiv mit vernachlässigbaren Nebenwirkungen defibriert [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 PaO_2 assoziiert [699]. In diesem Beitrag wurde die Sorge geäußert, dass niedrigere PaCO_2 -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 Überdruckbeatmung 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 FiO_2 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 benötigten.

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 Adrenalin Dosen 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 Wiederbelebungsmaßnahmen 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 abubrechen.

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 Wiederbelebungsmaßnahmen 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 T's) 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 Grenzwert 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 T's

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 Hs 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 prähospitaler 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, Herzbeuteltamponade 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, univentrikuläres 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 COTR 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. Brissaud, 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, Chiume 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/s41598-019-43020-0>
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, Iisawa 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, Leteurtre 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, Kharbanda 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 posttuberculous 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.jpeds.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, Hayen 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):398–408. <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):e11135. <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, Gaieski 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/ace.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* 145(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/ace.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/ace.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 and 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 Cardio*
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, Lendemanns 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.0000000000000103>
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, Temsah 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.jcrc.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/emered-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, Higuera-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.00000000000004403>
158. Long E, Barrett MJ, Peters C, Sabato S, Loeckie 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.00000000000004393>
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.00000000000004314>
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. Mokhteb-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, Fiadjo 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. Algie 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, Sheno 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 laryngoscope use across PICUs. *Pediatr Crit Care Med* 18(8):741–749. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000001175>
197. Park R, Peyton JM, Fiadjo 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, Bhatia 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 controlled 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, Dugger 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 unanesthetized, sedated children. *Anesthesiology* 98(1):41–45. <https://doi.org/10.1097/0000542-200301000-00010>
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) Randomized 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, Chevrete 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. Abadesso 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, Langan 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 S, 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, Cossus 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.00000000000002002>
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, Hebbard 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, Kisson 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.IJCCM_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(2S Suppl 2):S185–S191. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002590>
 279. Elkbulli 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, Tacconet 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, Chittawatanaarat 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 MMH, 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 M, 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 prebital 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, Harty 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, Permul 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* 37(4):301–307. <https://doi.org/10.1097/TME.0000000000000077>
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-Erozli, 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/pq9.0000000000000197>
318. Wulff A, Montag S, Marschollek 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(S 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 & medicare 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/pwx003>
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, Lertbunrion 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, Raccach 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, Kisoos 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, Otililio 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. Katsumura 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, Senewiratne 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/aa.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.anai.2018.06.033>
430. Ruiz Oropeza A, Lassen A, Halken S, Bindsløv-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.anai.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.anai.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):1128–1137.e1. <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.0000000000001031>
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/pbc.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-C-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: Intravenous adenosine for the termination of paroxysmal supraventricular tachycardia in children. *Emergency Medicine* 2014;31(7):604–605. <https://doi.org/10.1136/emered-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/emered-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 supraventricular 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) Dextrometomidine: 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/JCPSP.648651>
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.0000000000000144>
474. Morello ML, Khoury PR, Nkilans 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, Saladin 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, Mastroianni 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-Quigano 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):993–997. <https://doi.org/10.1097/ALN.0b013e3181d31fbc>
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 hypoglycemia 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, Djarrv 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/ActivePDSDocuments/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.00000000000007503>
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, Hoffer 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.epilepsyres.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/ajem.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.medint.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, Khurshed 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/aiann. 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. De Maio 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, Iguez 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, Uddasi 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. Dezfoulian 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, Ummerhofer 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, Grahon 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. Griffiths 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/emermed-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. Julliard 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, Sundek 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, Vyass 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 PSet 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, Pirrallo 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. Mendler 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. Mendler 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) Pediatric 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 asystolic 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, Kurbadin 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.jccr.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) Venoarterial 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/kjtc.2016.49.3.151>
762. Oberender F, Ganesalingham A, Fortenberry JD et al (2018) Venoarterial 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, Kissoon 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, Lantaigne 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>