

CT-Diagnostik bei Kindern und Jugendlichen im Schockraum

CT in pediatric trauma patients

Autorinnen/Autoren

Stefan Appelhaus , Stefan O Schönberg, Meike Weis

Institute

Department of Radiology and Nuclear Medicine, University Medical Centre Mannheim, Mannheim, Germany

Keywords

children, injuries, infants, injuries, CT, trauma

eingereicht 10.1.2024

akzeptiert nach Revision 5.5.2024

Artikel online veröffentlicht 29.7.2024

Bibliografie

Rofo 2025; 197: 257–265

DOI 10.1055/a-2341-7559

ISSN 1438-9029

© 2024. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Oswald-Hesse-Straße 50, 70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

Stefan Appelhaus, MD

Department of Radiology and Nuclear Medicine, University Medical Centre Mannheim, Mannheim, Germany

stefan.appelhaus@umm.de

 English version at: <https://doi.org/10.1055/a-2341-7559>.

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund Die Entscheidung, ob eine Computertomografie in der Situation eines Kinderschockraums durchgeführt werden soll, stellt eine Herausforderung dar – Der therapeutische Nutzen der Computertomografie (CT) bei verletzten Kindern ist im Vergleich zu Erwachsenen niedriger, die negativen Auswirkungen ionisierender Strahlung aber potenziell höher, entsprechend sollte die Indikation strenger gestellt werden. In Zentren, die seltener Kinder versorgen, werden häufiger Ganzkörper-CT-Untersuchungen durchgeführt als in dezidierten pädiatrischen Traumazentren, was auf eine klinische Überschätzung der Verletzungsschwere mit konsekutiver Überdiagnostik aus Unsicherheit hindeutet. Andererseits kann eine nicht durchgeführte, aber eigentlich notwendige CT ebenso zu negativen Folgen führen, wenn eine Verletzung hierdurch zu spät erkannt wird. Ein verletztes Kind stellt eine besondere Belastungssituation für alle beteiligten Behandelnden dar, sodass es eines möglichst strukturierten Vorgehens in der Entscheidungsfindung bedarf.

Methode Selektive Literaturübersicht zu Nutzen und Risiken der CT bei verletzten Kindern sowie Indikationen zur Ganzkörper- und Körperregionszentrierten CT-Diagnostik.

Ergebnisse und Schlussfolgerung Diese Arbeit gibt einen Überblick über die gültigen Leitlinien, aktuelle Erkenntnisse zu Strahlenschutz und Nutzen der CT bei verletzten Kindern und evidenzbasierte Entscheidungskriterien für die Wahl der richtigen Modalität in Abhängigkeit von Verletzungsmechanismus und betroffener Körperregion.

Kernaussagen

- Die Ganzkörper-CT schwerverletzter Kinder hat weniger Auswirkungen auf Behandlungsentscheidungen und Mortalität als bei Erwachsenen.
- Aus Strahlenschutzgründen sollte die Indikation strenger als bei verunfallten Erwachsenen gestellt werden.
- Die Indikation zum CT sollte möglichst für jede Körperregion einzeln gestellt werden.
- Sonografie und MRT sind in vielen Situationen eine gute alternative Primärdiagnostik.

Zitierweise

- Appelhaus S, Schönberg SO, Weis M. CT in pediatric trauma patients. Rofo 2025; 197: 257–265

ABSTRACT

Background The decision as to whether to perform a computed tomography (CT) examination in severe pediatric trauma poses a challenge. The therapeutic benefit of computed tomography in injured children is lower compared to adults, while the potential negative effects of ionizing radiation may be higher. Thus, the threshold for CT should be higher. Centers that less frequently treat pediatric cases tend to conduct more whole-body CT examinations than dedicated pediatric trauma centers, indicating a clinical overestimation of injury severity with subsequently unnecessary imaging due to inexperience. On the other hand, a CT scan that is not performed but is actually necessary can also have negative consequences if an injury is detected with a delay. An injured child presents a challenging situation for all involved healthcare providers, and thus requires a structured approach to decision-making.

Methods Selective literature review of the benefits and risks of CT in injured children, as well as indications for whole-body and region-specific CT imaging.

Results and Conclusion This article provides an overview of current guidelines, recent insight into radiation protection and the benefits of CT in injured children, and evidence-based

decision criteria for choosing the appropriate modality based on the mechanism of injury and the affected body region.

Key Points

- Whole-body CT has less of an influence on treatment decisions and mortality in severely injured children than in adults.
- For radiation protection reasons, the indication should be determined more conservatively in children than in adult trauma patients.
- The indication for CT should ideally be determined separately for each region of the body.
- Ultrasound and MRI are a good alternative for the primary diagnostic workup in many situations.

Die schnelle Durchführung einer Ganzkörper-Computertomografie (GK-CT) ist elementarer Bestandteil der Schockraumversorgung von polytraumatisierten Patienten in Deutschland [1]. Angesichts der besonderen Risiken ionisierender Strahlung für junge Patienten fällt dem Kinderchirurgen und Radiologen die Aufgabe zu, die Indikation kritisch zu stellen und zu prüfen. Ein schwerer Unfallmechanismus allein ist dabei nicht ausreichend, um eine GK-CT zu indizieren, sondern bedarf einer vorhergehenden sorgfältigen klinischen Untersuchung und Sonografie nach eFAST oder FAST-Schema ((extended) Focused Assessment with Sonography in Trauma) – und damit Erfahrung in der Behandlung von Kindern. Allgemeine Traumazentren führen im Vergleich zu dezidierten Kindertraumazentren 1,8-mal so oft eine GK-CT-Diagnostik durch, was unterstreicht, dass fehlende Routine und Erfahrung im Umgang mit verletzten Kindern zu einer Überdiagnostik führen können [2]. Selbst in Kindertraumazentren werden nur in 1/3 der Fälle Verletzungen gefunden [3]. Der Großteil der so untersuchten Patienten wird konservativ behandelt und eine eventuelle OP-Indikation wird in der Regel auf Basis der Klinik und nicht der Bildgebung entschieden, das CT zieht also in diesen Fällen keine unmittelbare therapeutische Konsequenz nach sich [4]. Wann sollte also ein GK-CT durchgeführt werden und wann kann darauf verzichtet werden?

Für einen in der klinischen Untersuchung von Kindern meist unerfahrenen Allgemeinradiologen kann diese Entscheidung nur im interdisziplinären Dialog mit dem gesamten Schockraumteam gelingen. Gleichzeitig stellt ein potenziell schwerverletztes Kind eine besondere Belastungssituation für die beteiligten Behandler dar und verlangt rasche Entscheidungen. Um den Radiologen in dieser Situation als Entscheidungsstütze zu dienen, beschäftigt sich der Hauptteil dieses Artikels mit den Vor- und Nachteilen der GK-CT bei Kindern, Indikationsstellung nach den betreffenden Leitlinien und in den letzten Jahren veröffentlichten klinischen Entscheidungskriterien für die Wahl der richtigen Diagnostik, ergänzt um Vorschläge zur Protokollwahl sowie besondere Verletzungsmuster und typische Fallstricke.

Wie wichtig ist Strahlenschutz bei Kindern?

Ob Röntgenstrahlung in (einmaliger) diagnostischer Dosis überhaupt und bei Kindern in höherem Maße das Krebsrisiko erhöht, ist umstritten. Das den meisten staatlichen Regularien zugrunde liegende Linear-No-Threshold (LNT)-Modell beruht auf der Annahme, dass sich die nach den Atombombenabwürfen auf Hiroshima und Nagasaki beobachteten erhöhten Krebssterblichkeitsraten linear auf niedrigere Dosisexpositionen extrapolieren lassen. Demgegen-

über steht der sog. Hormesis-Effekt, bei dem davon ausgegangen wird, dass ionisierende Strahlung in niedriger Dosis die DNA-Reparaturmechanismen anregt und damit sogar positive Effekte haben könnte [5]. In der Konsequenz besteht eine kontroverse Diskussion, ob eine einzelne CT wirklich eine reale Gesundheitsgefahr darstellt [6]. Dem LNT-Modell folgende Berechnungen schätzen eine Lebenszeitinzidenz von bis zu einer zusätzlichen Krebserkrankung auf 500 Abdomen-CTs oder 1000 Schädel-CTs nach Exposition im Kindesalter, gehen jedoch von teils deutlich höheren effektiven Dosiswerten aus, als bei modernen Geräten üblich [7]. Die tatsächliche Erkrankungsrate ist aufgrund der sehr niedrigen Inzidenz onkologischer Erkrankungen in Kindheit und jungem Erwachsenenalter, seltener Anwendung ionisierender Strahlung im Kindes- und Jugendalter und langen Beobachtungszeiträumen nur sehr schwer zu messen, sodass es sich bei den meisten publizierten Studien um retrospektive Registeruntersuchungen mit heterogenen Ergebnissen handelt. Mehrere Studien beobachten ein erhöhtes Risiko für Gehirntumore oder Leukämie nach Schädel-CTs, bei jedoch höheren durchschnittlichen Dosiswerten als heute allgemein akzeptiert [8, 9, 10]. Eine kürzlich erschienene Studie konnte keine Risikoerhöhung bei einmaliger CT-Exposition feststellen, nur bei 4 oder mehr CTs und insbesondere bei jungen Patienten <6 Jahren [11]. Eine erste Auswertung der großen europäischen EPI-CT-Studie konnte jedoch auch bereits für niedrige Dosisexpositionen eine Erhöhung des Risikos für Hirntumore nachweisen, mit entsprechend linearem Risikoanstieg bei höherer Dosis, was das LNT-Modell unterstützt. Nach den Berechnungen der Autoren tritt innerhalb von 5–15 Jahren nach Exposition ca. ein zusätzlicher Hirntumor auf 10.000 Schädel-CT-Untersuchungen auf [12]. Aufgrund der insgesamt weiter unklaren Datenlage besteht in den meisten Fachgesellschaften Konsens, die Indikation insbesondere für mehrfache CTs bei jungen Patienten sehr kritisch zu prüfen. Gleichzeitig ist das individuelle Risiko einer einmaligen CT-Exposition im Kindesalter wahrscheinlich sehr gering, sodass den Eltern eventuelle „Strahlungsängste“ genommen werden können und keinesfalls auf eine klinisch notwendige CT-Diagnostik verzichtet werden sollte.

Dosisreduktion bei pädiatrischen CT-Untersuchungen

Wenn eine CT bei einem Kind durchgeführt werden muss, obliegt es dem Radiologen, das richtige Protokoll zu wählen, die korrekte Durchführung der Untersuchung gemäß der Leitlinie der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung zu überwachen und insbesondere alle verfügbaren Methoden der Dosisredukti-

on anzuwenden wie iterative Rekonstruktionen, Reduktion der Röhrenspannung, ggf. Erhöhung des Pitchfaktors und gerätespezifische, automatische Expositionskontrolle durch dynamische Röhrenstrommodulation – hierbei in ständiger Adaptation der Bildqualität. Die Strahlenschutzkommission empfiehlt den Einsatz von Strahlenschutzmitteln insbesondere der Augenlinsen und der Schilddrüse, bei Kindern ggf. auch der Brustdrüse. Alternativ verfügen viele Geräte auch über eine sektorische Röhrenstrommodulation mit Verringerung der direkten Organdosis [13]. Insbesondere im Bereich der Notfalldiagnostik sollte deren Einsatz aber die Untersuchung nicht kritisch verzögern. Viele heutzutage in der Notfalldiagnostik verfügbaren CT-Scanner erlauben außerdem, die Röhrenspannung zu reduzieren, was zum einen mit einer Dosisreduktion verbunden ist, zum anderen die Abgrenzbarkeit des Kontrastmittelbolus durch Annähern an die k-Kante von Iod verbessern kann [14]. Insbesondere bei schlanken/kleinen Kindern sollte daher regelhaft die Röhrenspannung reduziert werden, je nach Gerät auf bis zu 70 keV. Des Weiteren sind zusätzliche Filterungen – beispielsweise Zinn-Filterungen – mittlerweile breit verfügbar und können insbesondere in nativen Untersuchungen zu einer deutlichen Dosisreduktion beitragen [15]. Darüber hinaus können Dual Energy-Protokolle über das Errechnen virtuell nativer oder monoenergetischer Rekonstruktionen zu einer Reduktion der Anzahl notwendiger Kontrastmittelphasen führen [16]. Die kürzlich auf dem Markt eingeführte „Photon-Counting“-Technologie eröffnet hier weitere Möglichkeiten. Durch Registrieren einzelner Photonen einschließlich ihrer Energie im Detektor können virtuell monoenergetische Bilder auch ohne Verwenden eines Dual Energy-Scans nachträglich errechnet werden – bei gleichzeitig hoher Detektoreffizienz und fehlendem elektronischen Rauschen im Signal, da nur das Signal der Photonen in die Rekonstruktion einfließt [17]. Für die Zukunft versprechen neue, Deep-Learning-basierte Algorithmen eine weitere Dosisreduktion bei gleichbleibender Bildqualität [18].

Fraglicher Nutzen der Ganzkörper-CT bei verletzten Kindern

Die Hauptvorteile der GK-CT liegen in der sehr hohen Sensitivität und Spezifität für das Erkennen relevanter Verletzungen, der weitgehenden Untersucherunabhängigkeit und der schnellen Durchführbarkeit in der Akutsituation, weshalb sie sich als Modalität der ersten Wahl bei der Diagnostik polytraumatisierter Patienten durchgesetzt hat. Der positive Effekt auf Morbidität und Mortalität der GK-CT in der Schockraumversorgung Erwachsener ist gut belegt [1, 19]. Ähnliche Untersuchungen an Kindern konnten jedoch keinen positiven Effekt der GK-CT auf das Überleben feststellen [20, 21]. Die Autoren führen die Ergebnisse auf das häufigere Auftreten isolierter Schädelverletzungen ohne Rumpft trauma sowie auf das seltenere Auftreten von knöchernen Thorax- und Beckentraumata zurück, für die der größte Benefit der GK-CT angenommen wird. Gleichzeitig ist die sonografische Untersuchung der Bauchorgane bei Kindern aus anatomischen Gründen oft einfacher. Berger et al. fordern daher in ihrer vor kurzem erschienenen Publikation im deutschen Ärzteblatt zur sehr zurückhalten-

► **Tab. 1** Indikationen zur GK-CT nach aktuell gültiger S2K-Leitlinie „Polytraumaversorgung im Kindesalter“ [20].

Veränderungen der Vitalparameter	Verletzungsmuster
Bewusstlosigkeit, Intubation infolge des Traumas	Polytraumatisierte Kinder
GCS ≤ 13 durch Trauma	Verdacht auf stumpfes Thorax- oder Bauchtrauma
Sauerstoffsättigung <90 %	Lähmung oder Verdacht auf schwere spinale Verletzung
Veränderte Atemfrequenz	Instabiles Becken
Schockzeichen (CAVE: altersgerechte Referenzwerte nutzen)	Mindestens 2 Frakturen der langen Röhrenknochen Schwere Verletzungszeichen (z. B. Fraktur mit schwerer Weichteilverletzung, Amputation)

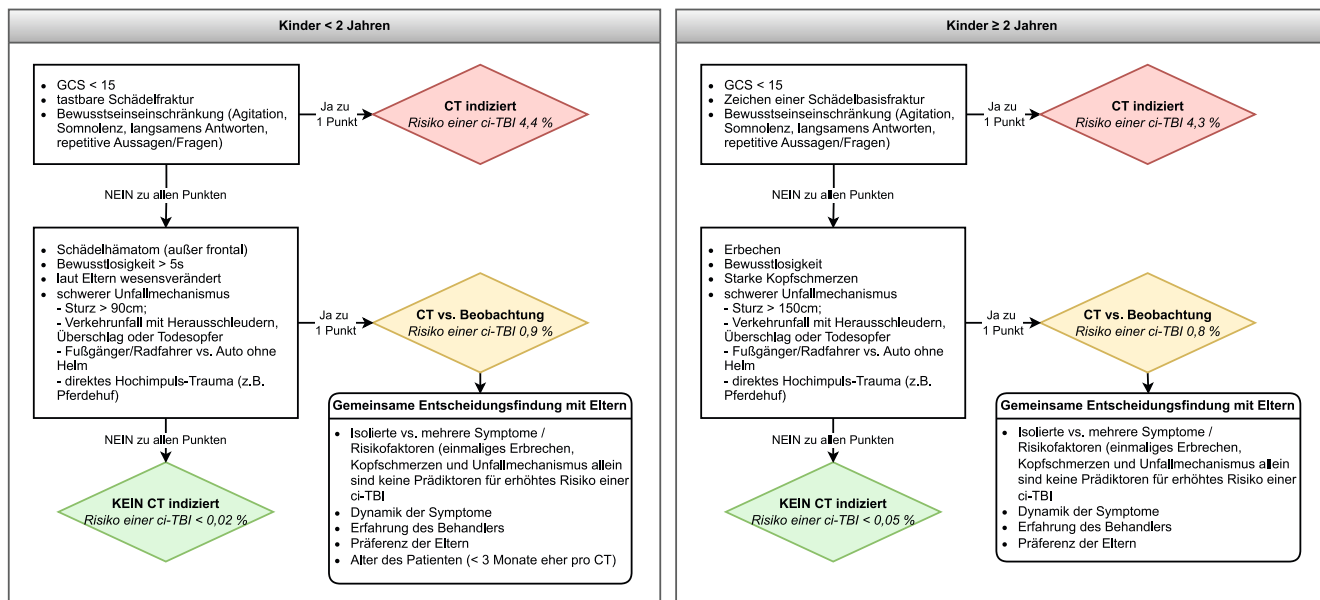
den Indikationsstellung auf und favorisieren in den meisten Fällen eine Kombination aus gründlicher, ggf. wiederholter sonografischer Untersuchung und einer organzentrierten Diagnostik (z. B. isoliertes Schädel-CT) in Abhängigkeit der klinischen Untersuchung und des Verletzungsmechanismus [21]. Eine weitere Alternative besteht, sofern verfügbar, in der Ganzkörper-MRT mit an die Akutsituation angepassten, gekürzten Protokollen [22]. Grundsätzlich sollte immer die Gefahr einer nicht oder zu spät diagnostizierten Verletzung (delayed diagnosis of injury, DDI) bedacht werden und keinesfalls eine notwendige CT einem verletzten Kind vorenthalten werden.

Indikationsstellung und Modalitätswahl

In der aktuellen S2k-Leitlinie zur Polytraumaversorgung im Kindesalter spielt die GK-CT weiterhin eine wichtige Rolle, da z. B. die Indikation bei „Verdacht auf stumpfes Thorax- oder Bauchtrauma“ sehr weit gefasst werden kann. Im Kontrast dazu rät z. B. die britische Leitlinie von der Ganzkörper-CT bei Patienten <16 Jahren generell ab und verlangt die Indikationsstellung separat für jede Körperregion [23]. Alle Indikationen zur GK-CT laut deutscher S2k-Leitlinie sind in ► **Tab. 1** aufgelistet [24].

Grundsätzlich verlangen die Leitlinien, sowohl für Kinder als auch für Erwachsene, dass die Indikation zur GK-CT auf Basis des klinischen Untersuchungsbefundes gestellt wird und nicht nur in Abhängigkeit des Traumamechanismus. Voraussetzung für die GK-CT sei die Verdachtsdiagnose Polytrauma, die auch nach dem „primary survey“ (klinische Untersuchung, Vitalparameter, FAST-Sonografie) weiter bestehe, also eine Verletzung oder eine Kombination von Verletzungen, die allein oder in ihrer Kombination lebensbedrohlich sein könnte [1, 24].

Sollte sich auf dieser Basis gegen ein GK-CT entschieden werden, kann in Abhängigkeit der klinischen Befunde **gezielte Diagnostik** durchgeführt werden. Um Überdiagnostik und damit unnötiger Strahlenbelastung vorzubeugen, existieren verschiedene klinische Entscheidungskriterien, um Patienten mit sehr niedri-



► **Abb. 1** PECARN-Kriterien für die Indikation zum Schädel-CT bei mildem Schädel-Hirn-Trauma [21]; ci-TBI: clinically important Traumatic Brain Injury (klinisch relevante, traumatische Gehirnverletzung).

gem Risiko einer relevanten Verletzung zu identifizieren. Am bekanntesten sind wahrscheinlich die Kriterien des „Pediatric Emergency Care Applied Research Network“ (PECARN), welche in großen, multizentrischen Studien in Nordamerika entwickelt wurden.

Schädel

Am etabliertesten und vielfach extern validiert sind die „PECARN Rules“ für die Indikation zum Schädel-CT (cCT), s. ► **Abb. 1** [25]. Im deutschen Gesundheitssystem steht mit der stationären Beobachtung von unsicheren Fällen eine gute Alternative zum initialen cCT zur Verfügung, sodass die Indikation eher zurückhaltend gestellt wird. Soweit verfügbar, eignet sich die Magnetresonanztomografie (MRT) aufgrund der höheren Sensitivität für die meisten Verletzungen und fehlender Strahlenbelastung auch gut zur alternativen Initialbildgebung bei stabilen Patienten oder zur Verlaufskontrolle bei zunehmenden oder persistierenden Symptomen. Bei Säuglingen und Kleinkindern mit offener Fontanelle ist auch eine Sonografie des Schädels möglich, sollte aber eine eventuell indizierte Schnittbildgebung nicht verzögern [26].

Wirbelsäule

Die existierenden klinischen Entscheidungskriterien zur Durchführung bildgebender Diagnostik für Wirbelsäulen- und Stammverletzungen im Kindesalter sind leider weniger etabliert. Die im Erwachsenenalter verbreiteten „NEXUS“-Kriterien zur Identifikation von Verletzungen der Halswirbelsäule konnten im Kindesalter leider nicht zufriedenstellend validiert werden [27]. Die in ► **Tab. 2** aufgeführten PECARN-Kriterien haben eine hohe Sensitivität von 98 %, bei strenger Anwendung könnte allerdings der Anteil der zu untersuchenden Patienten zunehmen [28, 29]. Die CT ist selten isoliert notwendig, sondern wird in der Regel im Rahmen eines ohnehin indizierten cCTs oder GK-CTs durchgeführt. Zur Abklärung unklarer, isolierter Wirbelsäulenverletzungen ist die MRT

► **Tab. 2** PECARN-Kriterien für HWS und Abdomen. Bei Erfüllen aller Kriterien kann in der Regel auf eine Röntgen- (HWS) oder Schnittbildgebung (Abdomen) verzichtet werden [25, 31].

Halswirbelsäule	<ul style="list-style-type: none"> Keine Bewusstseins Einschränkung Kein fokal-neurologisches Defizit Keine Torticollis Keine Nackenschmerzen Keine schwere Rumpferletzung Keine Sturzverletzung Kein Hochrasanz-Verkehrsunfall Keine prädisponierende Vorerkrankung (z. B. Down-Syndrom, Erkrankungen des muskuloskelettalen Systems)
Abdomen	<ul style="list-style-type: none"> Kein sichtbares Bauchwandtrauma, keine Gurtmarke GCS > 13 Keine Abwehrspannung Kein Thoraxwandtrauma Keine Bauchschmerzen Regelrechte Atmung Kein Erbrechen

sensitiver, vor allem für ligamentäre und intraspinale Verletzungen. Viele Leitlinien empfehlen als Basisdiagnostik zwar weiterhin das Röntgenbild in zwei Ebenen, aber auch die MRT findet zunehmend Anwendung zur strahlenfreien Primärdiagnostik, so auch in unserer Klinik [30].

Thorax

Mehrere Studien haben den Zusatznutzen einer CT gegenüber einer konventionellen Röntgenaufnahme des Thorax bei Kindern untersucht. Hämatothorax, Pneumothorax, Pneumomediastinum und Rippenverletzungen können auch mit hoher Sensitivität im

konventionellen Röntgen gesehen werden, die zusätzlich in der CT sichtbaren Verletzungen verändern nur im Ausnahmefall das klinische Management. Die wichtigste Indikation für ein CT des Thorax besteht in einer vermuteten Aortenverletzung. Diese entsteht in der Regel nur bei einem Hochrasanztrauma und tritt selten isoliert auf, sodass in diesen sehr seltenen Fällen meist eine Indikation zum GK-CT besteht [32, 33, 34, 35, 36]. Aufgrund der im Vergleich zum Erwachsenenalter höheren Herzfrequenz pädiatrischer Patienten kann es insbesondere in der Aorta ascendens zu deutlichen Pulsationsartefakten kommen, die die Detektion einer Aortendissektion erschweren können. Konsekutiv sollte eine EKG-getriggerte Untersuchung oder die Untersuchung mit einem hohen Pitch-Faktor (sogenannter Flash-Modus) erwogen werden [31, 37]. Retrospektive Studien konnten nachweisen, dass klinisch relevante, isolierte Thoraxverletzungen sehr selten vorkommen [38, 39]. Folglich sollte die isolierte CT des Thorax im Rahmen der Schockraumdiagnostik nur im Ausnahmefall durchgeführt werden, in der Regel ist bei vermutetem Thoraxtrauma ohne Polytrauma die konventionelle Röntgenaufnahme ausreichend. Als strahlenfreie Alternative eignet sich auch die Sonografie, insbesondere zum Nachweis eines Pleuraergusses. Die Sensitivität hinsichtlich eines Pneumothorax ist jedoch heterogen beschrieben, sie ist bei Erwachsenen im Gros der publizierten Studien tendenziell etwas besser als die des Röntgens, bei Kindern konnte dieser Nachweis bisher nicht erbracht werden [40, 41]. In Gruppen mit heterogener Ultraschallausbildung sind teilweise auch sehr niedrige Sensitivitäten von nur 16,8% beschrieben, sodass die routinemäßige Anwendung eine vorherige Ausbildung der Untersucher im Schockraum erfordert bzw. nicht zu allen Zeiten durchgeführt werden kann [42].

Abdomen

Die PECARN-Kriterien zur Identifikation von Kindern mit sehr niedrigem Risiko einer therapeutisch relevanten intraabdominalen Verletzung sind in ► **Tab. 2** aufgelistet. Liegt keines dieser Kriterien vor, so beträgt das Risiko einer übersehenen, interventionsbedürftigen Verletzung 0,1%. Das größte Risiko besteht bei sichtbarem Bauchwandtrauma bzw. einer Gurtmarke oder vermindertem GCS (5,4%), entsprechend stellt deren Vorhandensein eine starke Indikation zum CT Abdomen dar [43]. Durch die Einführung dieser strukturierten Kriterien in den diagnostischen Workflow konnten Leeper et al. eine signifikante Reduktion der durchgeführten CT zeigen. Therapeutisch relevante, höhergradige Organverletzungen wurden weiterhin detektiert, die Anzahl der diagnostizierten, niedriggradigen Verletzungen nahm ab [44].

Die alternative Diagnostik besteht in der Sonografie des Abdomens. Insbesondere für die FAST-Sonografie noch vor der CT wurden allerdings bei Kindern nur Sensitivitäten zwischen 27,8 und 56,5% im Vergleich zur CT für die Detektion intraabdomineller Verletzungen beschrieben [45, 46]. Bei wiederholter Untersuchung in erfahrener Hand und kombiniert mit klinischen Untersuchungsergebnissen kann die Sensitivität bis auf 87% ansteigen [47]. Bei Verwendung eines Ultraschallkontrastmittels (sog. CEUS – Contrast Enhanced Ultrasound) steigt die Sensitivität auf 85–100%, darüber hinaus können Perfusionsausfälle und aktive Blutungen dargestellt werden [48]. Leider sind entsprechend aus-

gebildete Untersucher in vielen Kliniken nicht rund um die Uhr verfügbar.

Extremitäten

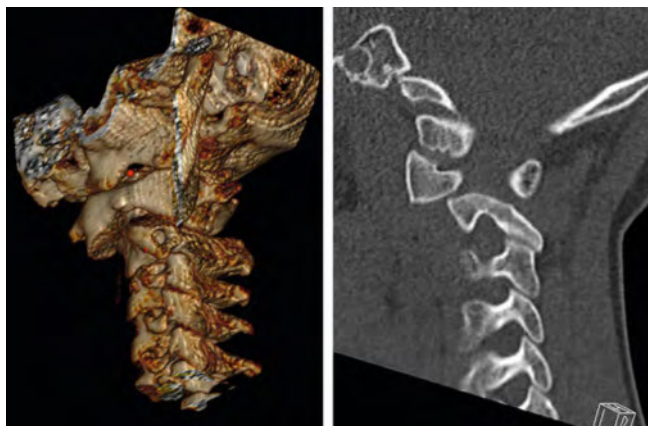
Extremitätenverletzungen werden regelhaft im Röntgen in 2 Ebenen untersucht. Falls sich aus der ersten Ebene bereits eine OP-Indikation ergibt, ist diese meist ausreichend, in erster Linie, um Schmerzen für den Patienten durch die Lagerung zu vermeiden [24]. Bei Durchführung eines GK-CT lassen sich Frakturen der bei Schmerzen meist an den Oberkörper angelagerten oberen Extremitäten auch in der CT erfassen und entsprechend rekonstruieren. Die Untersuchung der unteren Extremität ist insbesondere bei komplexen Gelenkfrakturen indiziert und geht mit einer geringen zusätzlichen Strahlenbelastung einher, sodass diese gut im Anschluss an eine GK-CT durchgeführt werden kann, um Zeitverluste durch Umlagern und zusätzliche Röntgenaufnahmen zu vermeiden.

Präklinische Versorgung – Auswahl des geeigneten Traumacenters

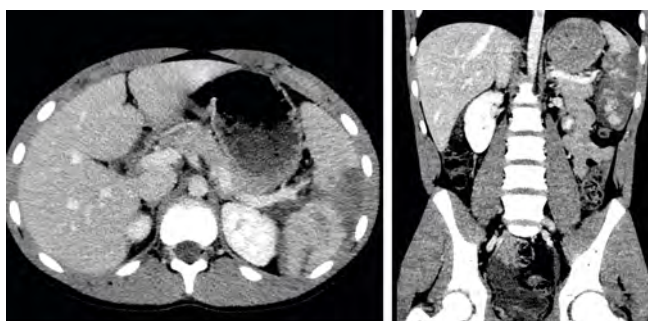
Wie beschrieben, hängt die Anzahl der durchgeführten CT-Untersuchungen von der Erfahrung der aufnehmenden Klinik mit pädiatrischen Notfällen ab. Demnach sollte bereits präklinisch entschieden werden, ob das Kind in ein Kindertraumazentrum transportiert werden muss. Künftig können telemedizinische Konzepte, wie sie beispielsweise in der Schlaganfalldiagnostik bereits Anwendung finden, bei der Wahl der richtigen Klinik unterstützen [49]. Via digitalem Datentransfer über Tablets am Unfallort in das Traumazentrum (beispielsweise NIDAmobile, medDV) werden schon heute insbesondere in der Erwachsenenmedizin wichtige Informationen vorab übermittelt. Rogers et al. konnten den Vorteil telemedizinischer Techniken für die Notfallversorgung via Austausch zwischen Traumazentrum und peripherem Haus zeigen [50]. Die pädiatrische Notfallversorgung scheint hier ein besonders sinnvolles Anwendungsgebiet, da bedingt durch die Seltenheit des Ereignisses telemedizinische Unterstützung einen großen Benefit bringen könnte [51]. Dayal et al. konnten nach Einführung telemedizinischer Konsultationen eine Verbesserung des Zustandes von verlegten Kindern zeigen [52]. Entsprechend arbeitet die Universitätsmedizin Mannheim an der Umsetzung telemedizinischer Konzepte in der pädiatrischen Notfallversorgung.

Durchführung: Untersuchungsprotokolle

Die aktuelle Leitlinie empfiehlt bei Kindern und Jugendlichen < 15 Jahre, bei denen eine GK-CT durchgeführt werden soll, eine native cCT, gefolgt von einer monophasischen Untersuchung von Schädelbasis bis Becken in einer venösen Kontrastmittelphase, alternativ ggf. mit „Split-Bolus“-Kontrastmittelapplikation [24]. Dabei wird der Kontrastmittelbolus geteilt und zeitversetzt appliziert, je nach Patientengewicht, 45–65 Sekunden und 15–25 Sekunden vor Bildakquisition [53]. Die Autoren beschreiben dabei eine verbesserte gleichzeitige Kontrastierung von Arterien und parenchy-



► **Abb. 2** Atlantoaxiale Dislokation bei einem 10-jährigen Jungen. Deutlich sichtbare Dislokation ohne Fraktur in der 3D-MIP (links) und Inkongruenz zwischen HWK1 und 2 in der Facettengelenkebene (rechts).

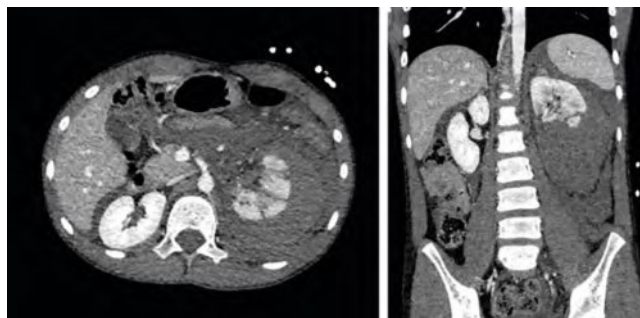


► **Abb. 3** Milzriss Grad IV bei einem 12-jährigen Jungen. Die Verletzung konnte erfolgreich konservativ behandelt werden.

matösen Organen in einer einphasigen Untersuchung. Gleiches gilt für eine eventuelle isolierte CT des Abdomens [47].

Das Protokoll kann ggf. um eine CT-Venografie des Schädels erweitert werden, falls im nativen CT Frakturen mit Kontakt zu den venösen Sinus auffallen. Bei Verletzungen der ableitenden Harnwege ist meist eine weitere Untersuchung in der Ausscheidungsphase indiziert [24]. In Einzelfällen kann bei v. a. aktive Blutung die biphasische (arteriell und venös) Darstellung angezeigt sein [54]. Bei isolierter CT des Schädels empfehlen manche Autoren, die Halswirbelsäule bis C3 mitzuerfassen, da insbesondere bei kleinen Kindern HWS-Verletzungen am häufigsten kranial hiervon auftreten [30].

Abhängig vom gewählten Protokoll beträgt die Kontrastmitteldosis in der Regel 1,5–2 ml/kg Körpergewicht bei Verwendung hyperosmolaren Kontrastmittels. Je nach verwendetem Pumpensystem, i. v.-Zugang und Gewicht des Kindes muss ggf. eine Handinjektion erfolgen. Hier empfiehlt sich die Verwendung eines 3-Wege-Hahn-Systems für Kontrastmittel und Kochsalzlösung zum Nachspülen, um eine Zeitverzögerung durch Spritzenwechsel zu vermeiden. Bei sehr kleinlumigen Zugängen kann das Kontrastmittel mit Kochsalzlösung 1:1 verdünnt werden, um die Viskosität zu senken. Der Ort mit der niedrigsten Streustrahlenbelastung für den Untersucher ist direkt neben der Gantry, ein Ver-



► **Abb. 4** 4-jähriger Patient mit Nierenlazeration Grad IV mit ausgedehntem retroperitonealem Hämatom und Abriss des Unterpols nach Sturz auf die Flanke, nebenbefundlich teilerfasste Milzlazeration Grad II. Nach einer Harnleiterschienung konnte der Patient erfolgreich konservativ behandelt werden.

lassen des Raumes ist jedoch in der Regel aufgrund des Delays bei monophasischen Untersuchungen möglich [55].

Typische Verletzungsmuster und Fallstricke

Die typischen Verletzungsmuster im Kindesalter sind altersabhängig, teils aufgrund anatomischer Besonderheiten und teils aufgrund unterschiedlichen Aktivitätsverhaltens. Im Kleinkindalter dominieren Stürze als Verletzungsmuster, der Kopf ist im Verhältnis zum restlichen Körper größer, folglich sind Kopfverletzungen am häufigsten. Mit zunehmendem Alter nimmt die Aktivität bei Sport und Straßenverkehr zu und die Inzidenz von Rumpfverletzungen steigt an. Das Vorliegen von Kopf- und Thoraxverletzungen ist mit einer erhöhten Mortalität assoziiert [38, 39, 56].

Eine Besonderheit im Kindesalter besteht in der erhöhten Elastizität von Knochen und Bändern, sodass Frakturen des Stammskelettes im Vergleich zu Erwachsenen seltener sind. Es kommt häufiger zu isolierten Bandläsionen ohne instabile Fraktur, welche im CT oft nicht oder nur indirekt erkennbar sind und eine primäre oder zusätzliche MRT erfordern. Insbesondere bei kleinen Kindern befindet sich der Großteil der festgestellten Verletzungen an der oberen HWS, u. a. wegen des im Verhältnis zum Körper großen Kopfes und der dadurch verstärkten und verschobenen Hebelwirkungen. Ein typisches Beispiel sind atlanto-okzipitale und -axiale Dislokationsverletzungen, welche im Erwachsenenalter kaum noch auftreten, s. ► **Abb. 2** [30, 57].

Thorakale Verletzungen treten in der Regel nicht isoliert auf, im Rahmen eines Polytraumas sind sie aber mit einer erhöhten Mortalität vergesellschaftet [38]. Aufgrund der erhöhten Elastizität der Knochen sind Organverletzungen ohne Rippenfraktur keine Seltenheit, z. B. Lungenkontusionen und Läsionen der Oberbauchorgane. Verletzungen von Leber, Milz und Nieren können häufiger als bei Erwachsenen konservativ behandelt werden, ► **Abb. 3** und ► **Abb. 4** zeigen beispielhaft dramatische Bildbefunde, die ohne Operation behandelt werden konnten. Wichtig ist in diesem Zusammenhang die genaue Beurteilung hinsichtlich einer aktiven Blutung in der CT-Angiografie, da der Nachweis einer aktiven Extravasation in das Peritoneum einen starken Prädiktor für das Versagen eines konservativen Managements darstellt und

entsprechend kommuniziert werden muss, v. a. bei der sonst im Kindesalter nahezu immer konservativ behandelten Milzläsion [54]. Nach den Oberbauchorganen meistverletztes Organ ist der Darm, häufiger als bei Erwachsenen [58]. Eine weitere kritische Verletzung ist die Nierenarterien-Dissektion, welche bei Verzicht auf ein CT mit Kontrastmittel unbedingt mittels Duplexsonografie ausgeschlossen werden sollte.

Insbesondere Säuglinge und Kleinkinder unter 3 Jahre können Opfer von Kindesmisshandlung sein, die Eltern präsentieren aber eine divergente Anamnese. Suggestive Befunde, die eine weitere Abklärung verlangen, sind zum Beispiel Subduralhämatome und obere HWS-Verletzungen ohne adäquates Trauma, dorsale Rippenfrakturen, Sternumfrakturen, Processus spinosi-Frakturen, metaphysäre Apophysenfrakturen der Extremitäten (sog. Korbhenkelfraktur, durch Schütteln der Extremität) und allgemein mutmaßlich mehrzeitige Verletzungen. Bei allen pädiatrischen Traumapatienten und insbesondere bei nicht zum Verletzungsmechanismus passendem Verletzungsmuster muss die Differenzialdiagnose einer nicht-akzidentellen Verletzung immer bedacht und ggf. in interdisziplinären Kinderschutzteams weiter abgeklärt werden [59, 60]. Die typische Präsentation im Schockraum ist der apathische Säugling, diagnostisch ist hier in der Regel bei entsprechendem Verdacht zunächst ein natives cCT und eine Sonografie von Thorax und Abdomen ausreichend.

Schlussfolgerung

Die Kenntnis pädiatrischer Besonderheiten in Indikationsstellung, Auswahl, Durchführung und Interpretation der bildgebenden Verfahren ist essenziell für Radiologen, die an der Versorgung verletzter Kinder beteiligt sind. Die GK-CT stellt dabei nur eine der Möglichkeiten der Diagnostik dar und sollte wegen erhöhter Strahlensensibilität und oft geringer Therapierrelevanz im Kindesalter nur nach sorgfältiger Abwägung eingesetzt werden. In der Regel erfolgt die Indikationsstellung der CT für jede Körperregion separat und im interdisziplinären Austausch, möglichst in einem Kinder-Traumazentrum. Wenn die Situation es zulässt, sind Sonografie und MRT oft gut geeignete, strahlungsfreie Alternativen zur Bildgebung verletzter Kinder.

Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

References

- [1] S3-Leitlinie: Polytrauma / Schwerverletzten-Behandlung. AWMF 2022, Registernummer 187–023
- [2] Pandit V, Michailidou M, Rhee P et al. The use of whole body computed tomography scans in pediatric trauma patients: Are there differences among adults and pediatric centers. *Journal of Pediatric Surgery* 2016. doi:10.1016/j.jpedsurg.2015.12.002
- [3] Muhm M, Danko T, Henzler T et al. Pediatric trauma care with computed tomography—criteria for CT scanning. *Emerg Radiol* 2015; 22: 613–621. doi:10.1007/S10140-015-1332-7
- [4] Chatoorgoon K, Brown RL, Garcia VF et al. Role of computed tomography and clinical findings in pediatric blunt intestinal injury: A multicenter study. *Pediatr Emerg Care* 2012; 28: 1338–1342. doi:10.1097/PEC.0B013E318276C057
- [5] Doss M. Linear No-Threshold Model VS. Radiation Hormesis. *Dose-Response* 2013; 11: 495. doi:10.2203/DOSE-RESPONSE.13-005.DOSS
- [6] Callahan MJ, Cravero JP. Should I irradiate with computed tomography or sedate for magnetic resonance imaging? *Pediatr Radiol* 2022; 52: 340. doi:10.1007/S00247-021-04984-2
- [7] Berrington De González A, Mahesh M, Kim KP et al. Projected Cancer Risks from Computed Tomographic Scans Performed in the United States in 2007. *Arch Intern Med* 2009; 169: 2071–2077
- [8] Meulepas JM, Ronckers CM, Smets AMJB et al. Radiation Exposure From Pediatric CT Scans and Subsequent Cancer Risk in the Netherlands. *JNCI Journal of the National Cancer Institute* 2019; 111: 256. doi:10.1093/JNCI/DJY104
- [9] Pearce MS, Salotti JA, Little MP et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: A retrospective cohort study. *The Lancet* 2012; 380: 499–505. doi:10.1016/S0140-6736(12)60815-0
- [10] Mathews JD, Forsythe AV., Brady Z et al. Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *The BMJ* 2013; 346. doi:10.1136/BMJ.F2360
- [11] Wang WH, Sung CY, Wang SC et al. Risks of leukemia, intracranial tumours and lymphomas in childhood and early adulthood after pediatric radiation exposure from computed tomography. *CMAJ Canadian Medical Association Journal* 2023; 195: E575–E583. doi:10.1503/CMAJ.221303/TAB-RELATED-CONTENT
- [12] Hauptmann M, Byrnes G, Cardis E et al. Brain cancer after radiation exposure from CT examinations of children and young adults: results from the EPI-CT cohort study. *Lancet Oncol* 2023; 24: 45–53. doi:10.1016/S1470-2045(22)00655-6
- [13] Strahlenschutzkommission (SSK). Verwendung von Patienten-Strahlenschutzmitteln bei der diagnostischen Anwendung von Röntgenstrahlung am Menschen. Empfehlung der Strahlenschutzkommission, verabschiedet in der 321. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 22./23. September 2022, Bekanntmachung im BAnz AT 27.04.2023 B5
- [14] Hagelstein C, Henzler T, Haubenreisser H et al. Ultra-high pitch chest computed tomography at 70 kVp tube voltage in an anthropomorphic pediatric phantom and non-sedated pediatric patients: Initial experience with 3rd generation dual-source CT. *Z Med Phys* 2016; 26: 349–361. doi:10.1016/J.ZEMEDI.2015.11.002
- [15] Weis M, Henzler T, Nance JW et al. Radiation Dose Comparison Between 70 kVp and 100 kVp With Spectral Beam Shaping for Non-Contrast-Enhanced Pediatric Chest Computed Tomography: A Prospective Randomized Controlled Study. *Invest Radiol* 2017; 52: 155–162. doi:10.1097/RLI.0000000000000325
- [16] Siegel MJ, Ramirez-Giraldo JC. Dual-Energy CT in Children: Imaging Algorithms and Clinical Applications. *Radiology* 2019; 291: 286–297. doi:10.1148/RADIOL.2019182289
- [17] Leng S, Bruesewitz M, Tao S et al. Photon-counting Detector CT: System Design and Clinical Applications of an Emerging Technology. *RadioGraphics* 2019; 39: 729–743. doi:10.1148/RG.2019180115
- [18] Chen H, Li Q, Zhou L et al. Deep learning-based algorithms for low-dose CT imaging: A review. *Eur J Radiol* 2024; 172: 111355. doi:10.1016/J.EJRAD.2024.111355
- [19] Huber-Wagner S, Lefering R, Qvick LM et al. Effect of whole-body CT during trauma resuscitation on survival: a retrospective, multicentre study. *Lancet* 2009; 373: 1455–1461. doi:10.1016/S0140-6736(09)60232-4

- [20] Abe T, Aoki M, Deshpande G et al. Is Whole-Body CT Associated With Reduced In-Hospital Mortality in Children With Trauma? A Nationwide Study. *Pediatr Crit Care Med* 2019; 20: e245–e250. doi:10.1097/PCC.0000000000001898
- [21] Berger M, Lefering R, Bauer M et al. Mortality With and Without Whole-Body CT in Severely Injured Children. *Dtsch Arztebl Int* 2023; 120: 180–185. doi:10.3238/arztebl.m2022.0414
- [22] Raimann M, Ludwig J, Heumann P et al. Whole-Body Magnetic Resonance Tomography and Whole-Body Computed Tomography in Pediatric Polytrauma Diagnostics—A Retrospective Long-Term Two-Center Study. *Diagnostics* 2023; 13. doi:10.3390/DIAGNOSTICS13071218
- [23] Kanani AN, Hartshorn S. NICE clinical guideline NG39: Major trauma: assessment and initial management. *Arch Dis Child Educ Pract Ed* 2017; 102: 20–23. doi:10.1136/ARCHDISCHILD-2016-310869
- [24] S2K-Leitlinie: Polytraumaversorgung im Kindesalter. AWMF 2020, Registernummer 006–120
- [25] Kuppermann N, Holmes JF, Dayan PS et al. Identification of children at very low risk of clinically-important brain injuries after head trauma: a prospective cohort study. *The Lancet* 2009; 374: 1160–1170. doi:10.1016/S0140-6736(09)61558-0
- [26] S2k-Leitlinie: Das Schädel-Hirn-Trauma im Kindes- und Jugendalter. AWMF 2023, Registernummer 024–018
- [27] Ekhaton C, Nwankwo I, Nicol A. Implementation of National Emergency X-Radiography Utilization Study (NEXUS) Criteria in Pediatrics: A Systematic Review. *Cureus* 2022; 14. doi:10.7759/CUREUS.30065
- [28] Phillips N, Rasmussen K, McGuire S et al. Projected paediatric cervical spine imaging rates with application of NEXUS, Canadian C-Spine and PECARN clinical decision rules in a prospective Australian cohort. *Emerg Med J* 2021; 38: 330–337. doi:10.1136/EMERMED-2020-210325
- [29] Leonard JC, Kuppermann N, Olsen C et al. Factors Associated With Cervical Spine Injury in Children After Blunt Trauma. *Ann Emerg Med* 2011; 58: 145–155. doi:10.1016/j.annemergmed.2010.08.038
- [30] McAllister AS, Nagaraj U, Radhakrishnan R. Emergent Imaging of Pediatric Cervical Spine Trauma. *RadioGraphics* 2019; 39: 1126–1142. doi:10.1148/rq.2019180100
- [31] Batra P, Bigoni B, Manning J et al. Pitfalls in the diagnosis of thoracic aortic dissection at CT angiography. *Radiographics* 2000; 20: 309–320. doi:10.1148/RADIOGRAPHICS.20.2.G00MC04309
- [32] Arbuthnot M, Onwubiko C, Osborne M et al. Does the incidence of thoracic aortic injury warrant the routine use of chest computed tomography in children? *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 2019; 86: 97–100. doi:10.1097/TA.0000000000002082
- [33] Golden J, Isani M, Bowling J et al. Limiting chest computed tomography in the evaluation of pediatric thoracic trauma. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 2016; 81: 271–277. doi:10.1097/TA.0000000000001110
- [34] Azari S, Hoover T, Dunstan M et al. Review, monitor, educate: A quality improvement initiative for sustained chest radiation reduction in pediatric trauma patients. *Am J Surg* 2020; 220: 1327–1332. doi:10.1016/j.amjsurg.2020.06.043
- [35] Holscher CM, Faulk LW, Moore EE et al. Chest computed tomography imaging for blunt pediatric trauma: Not worth the radiation risk. *Journal of Surgical Research* 2013; 184: 352–357. doi:10.1016/j.jss.2013.04.044
- [36] Lynch P, Samoilov L, Brahm G. Thoracic Imaging in Pediatric Trauma: Are CTs Necessary? *Pediatr Emerg Care* 2023; 39: 98–101. doi:10.1097/PEC.0000000000002896
- [37] Liu Y, Xu J, Li J et al. The ascending aortic image quality and the whole aortic radiation dose of high-pitch dual-source CT angiography. *J Cardiothorac Surg* 2013; 8. doi:10.1186/1749-8090-8-228
- [38] Naqvi G, Johansson G, Yip G et al. Mechanisms, patterns and outcomes of paediatric polytrauma in a UK major trauma centre. *Ann R Coll Surg Engl* 2017; 99: 39–45. doi:10.1308/rcsann.2016.0222
- [39] Aoki M, Abe T, Saitoh D et al. Epidemiology, Patterns of treatment, and Mortality of Pediatric Trauma Patients in Japan. *Sci Rep* 2019; 9. doi:10.1038/S41598-018-37579-3
- [40] Stengel D, Leisterer J, Ferrada P et al. Point-of-care ultrasonography for diagnosing thoracoabdominal injuries in patients with blunt trauma. *Cochrane Database Syst Rev* 2018; 12. doi:10.1002/14651858.CD012669.PUB2
- [41] Vasquez DG, Berg GM, Srour SG et al. Lung ultrasound for detecting pneumothorax in injured children: preliminary experience at a community-based Level II pediatric trauma center. *Pediatr Radiol* 2020; 50: 329–337. doi:10.1007/S00247-019-04509-Y
- [42] Maximus S, Figueroa C, Whealon M et al. eFAST for Pneumothorax: Real-Life Application in an Urban Level 1 Center by Trauma Team Members; 2018; 84: 220–224. doi:10.1177/000313481808400228
- [43] Holmes JF, Lillis K, Monroe D et al. Identifying children at very low risk of clinically important blunt abdominal injuries. *Ann Emerg Med* 2013; 62. doi:10.1016/J.ANNEMERGEMED.2012.11.009
- [44] Leeper CM, Nasr I, Koff A et al. Implementation of clinical effectiveness guidelines for solid organ injury after trauma: 10-year experience at a level 1 pediatric trauma center. *J Pediatr Surg* 2018; 53: 775–779. doi:10.1016/J.JPEDIURG.2017.05.025
- [45] Holmes JF, Gladman A, Chang CH. Performance of abdominal ultrasonography in pediatric blunt trauma patients: a meta-analysis. *J Pediatr Surg* 2007; 42: 1588–1594. doi:10.1016/J.JPEDIURG.2007.04.023
- [46] Calder BW, Vogel AM, Zhang J et al. Focused assessment with sonography for trauma in children after blunt abdominal trauma: A multi-institutional analysis. *J Trauma Acute Care Surg* 2017; 83: 218–224. doi:10.1097/TA.0000000000001546
- [47] Bahrami-Motlagh H, Hajjoo F, Mirghorbani M et al. Test characteristics of focused assessment with sonography for trauma (FAST), repeated FAST, and clinical exam in prediction of intra-abdominal injury in children with blunt trauma. *Pediatr Surg Int* 2020; 36: 1227–1234. doi:10.1007/S00383-020-04733-W
- [48] Pegoraro F, Giusti G, Giacalone M et al. Contrast-enhanced ultrasound in pediatric blunt abdominal trauma: a systematic review. *J Ultrasound* 2022; 25: 419–427. doi:10.1007/S40477-021-00623-6
- [49] Wu TC, Nguyen C, Ankrom C et al. Prehospital utility of rapid stroke evaluation using in-ambulance telemedicine: a pilot feasibility study. *Stroke* 2014; 45: 2342–2347. doi:10.1161/STROKEAHA.114.005193
- [50] Rogers FB, Ricci M, Caputo M et al. The use of telemedicine for real-time video consultation between trauma center and community hospital in a rural setting improves early trauma care: preliminary results. *J Trauma* 2001; 51: 1037–1041. doi:10.1097/00005373-200112000-00002
- [51] Kim PT, Falcone RA. The use of telemedicine in the care of the pediatric trauma patient. *Semin Pediatr Surg* 2017; 26: 47–53. doi:10.1053/j.sempedsurg.2017.01.008
- [52] Dayal P, Hojman NM, Kisse J et al. Impact of Telemedicine on Severity of Illness and Outcomes Among Children Transferred From Referring Emergency Departments to a Children's Hospital PICU. *Pediatr Crit Care Med* 2016; 17: 516–521. doi:10.1097/PCC.0000000000000761
- [53] Thomas KE, Mann EH, Padfield N et al. Dual bolus intravenous contrast injection technique for multiregion paediatric body CT. *Eur Radiol* 2015; 25: 1014–1022. doi:10.1007/s00330-014-3501-6
- [54] Kozar RA, Crandall M, Shanmuganathan K et al. Organ injury scaling 2018 update: Spleen, liver, and kidney. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 2018; 85: 1119–1122. doi:10.1097/TA.0000000000002058
- [55] Overhoff D, Weis M, Riffel P et al. Radiation dose of chaperones during common pediatric computed tomography examinations. *Pediatr Radiol* 2020; 50: 1078–1082. doi:10.1007/s00247-020-04681-6
- [56] Sharma OP, Oswanski MF, Stringfellow KC et al. Pediatric Blunt Trauma: A Retrospective Analysis in a Level I Trauma Center. *Am Surg* 2006; 72: 538–543. doi:10.1177/000313480607200616

- [57] Powell EC, Leonard JR, Olsen CS et al. Atlantoaxial Rotatory Subluxation in Children. *Pediatr Emerg Care* 2017; 33: 86–91. doi:10.1097/PEC.0000000000001023
- [58] Chaudhari PP, Rodean J, Spurrier RG et al. Epidemiology and management of abdominal injuries in children. *Academic Emergency Medicine* 2022; 29: 944–953. doi:10.1111/ACEM.14497
- [59] S3-Leitlinie: Kindesmisshandlung, -missbrauch, -vernachlässigung unter Einbindung der Jugendhilfe und Pädagogik (Kinderschutzleitlinie). AWMF 2022, Registernummer 027–069
- [60] Marine MB, Forbes-Amrhein MM. Fractures of child abuse. *Pediatr Radiol* 2021; 51: 1003–1013. doi:10.1007/s00247-020-04945-1