

Selected aspects of intensive care of seriously injured patients

E. Hüttemann¹ · S. G. Sakka²

► **Zitierweise:** Hüttemann E, Sakka SG: Ausgewählte Aspekte der intensivmedizinischen Versorgung schwerverletzter Patientinnen und Patienten. Anästh Intensivmed 2025;66:71–82. DOI: 10.19224/ai2025.071

Zertifizierte Fortbildung

CME online

BDA- und DGAI-Mitglieder müssen sich mit ihren Zugangsdaten aus dem geschlossenen Bereich der BDA- und DGAI-Webseite unter der Domain www.cme-anesthesiologie.de anmelden, um auf das Kursangebot zugreifen zu können.

- 1 Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Klinikum Worms, Akademisches Lehrkrankenhaus der Johannes Gutenberg-Universität Mainz (Chefarzt: Priv.-Doz. Dr. E. Hüttemann)
- 2 Klinik für Intensivmedizin, Gemeinschaftsklinikum Mittelrhein gGmbH, Akademisches Lehrkrankenhaus der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Koblenz (Chefarzt: Prof. Dr. S. G. Sakka)

Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Schlüsselwörter

Polytrauma – Schädel-Hirn-Trauma – Thoraxtrauma – Abdominaltrauma – Damage-Control-Konzept – Intensivmedizin

Keywords

Polytrauma – Traumatic Brain Injury – Thoracic Trauma – Abdominal Trauma – Damage Control Concept – Intensive Care Medicine

Zusammenfassung

Schwere Verletzungen sind häufig Folge von Stürzen oder Verkehrsunfällen und gehören bei den unter 45-Jährigen zu den häufigsten Todesursachen. Die Betroffenen sind häufig im Alter zwischen 20 und 29 Jahren, etwa 36 % weisen ein schweres Schädel-Hirn-Trauma auf, ebenso viele eine schwere Thoraxverletzung, 23 % eine schwere Extremitäten- und/oder Beckenverletzung und 10 % eine schwere abdominelle Verletzung; in 14 % der Fälle liegt ein Polytrauma vor. Durch die medizinischen Fortschritte der letzten Jahre konnte die traumabedingte Sterblichkeit signifikant von etwa 40 % in den 1970er-Jahren auf inzwischen unter 15 % reduziert werden. Die optimale Versorgung von Schwerverletzten kann nur durch ein gut aufeinander abgestimmtes interdisziplinäres Behandlungsteam gewährleistet werden. Der intensivmedizinischen Therapie von Traumapatientinnen und -patienten kommt dabei eine zentrale Rolle zu. Das Ziel dieser Übersicht ist es, ausgewählte Aspekte und Prinzipien der intensivmedizinischen Versorgung von Schwerverletzten darzustellen.

Summary

Serious injuries are often the result of falls or traffic accidents and are the most common causes of death among those under 45 years of age. Those affected are often between 20–29 years of age, about 36 % have a severe traumatic brain injury, an identical number have severe thoracic injuries, 23 % a severe limb

Ausgewählte Aspekte der intensivmedizinischen Versorgung schwerverletzter Patientinnen und Patienten

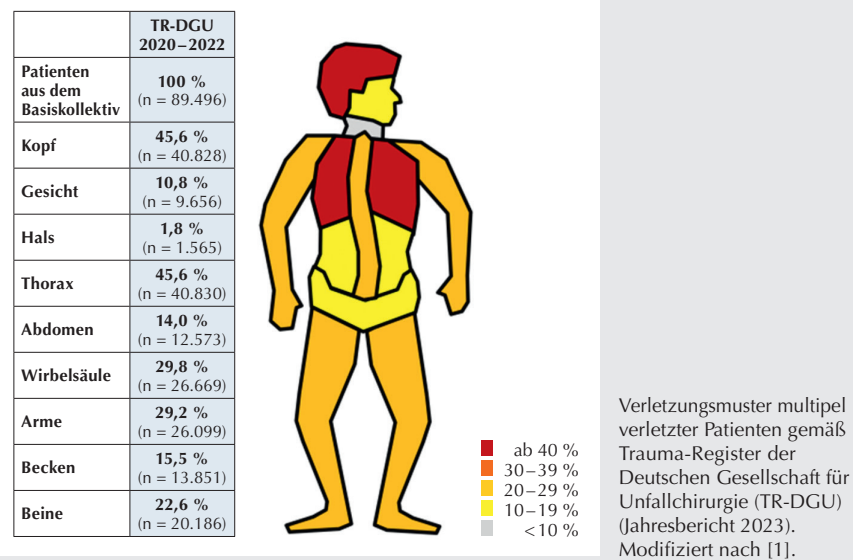
and/or pelvic injury and 10 % a severe abdominal injury; a polytrauma exists in 14 % of the cases. Due to medical advances in recent years, trauma-related mortality has been significantly reduced from about 40 % in the 1970s to less than 15 % today. The optimal care of seriously injured patients can only be guaranteed by a well-coordinated interdisciplinary team. The intensive care of trauma patients plays a central role in this regard. This overview focusses on selected aspects and principles that apply to the intensive care of seriously injured patients.

Einleitung

In Deutschland treten **schwere Verletzungen** häufig im Rahmen von Stürzen oder Verkehrsunfällen auf und gehören bei den unter 45-Jährigen zu den häufigsten Todesursachen. Die Schwere der Verletzungen eines Unfallopfers wird dabei über die **Abbreviated Injury Scale** (AIS) bestimmt, die sich auf Körperregionen bezieht und jeder Verletzung einen Schweregrad zwischen 1 (leicht) und 6 (maximal) zuordnet. Aus diesen Angaben können dann zusammenfassende Beurteilungen des Schweregrads wie der **Maximale AIS-Schweregrad** (MAIS) oder der **Injury Severity Score** (ISS) berechnet werden [1].

Gemäß dem **TraumaRegister DGU®** der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e. V. (TR-DGU; Jahresbericht 2023), dessen Einschlusskriterien die Aufnahme einer Patientin bzw. eines Patienten über

Abbildung 1



den Schockraum mit anschließender Intensivtherapie oder das Versterben vor Erreichen der Intensivstation sind, ist der überwiegende Anteil der Verunfallten männlich (70 %) und häufig im Alter zwischen 20 und 29 Jahren. Etwa 36 % aller im TR-DGU erfassten Patientinnen und Patienten weisen ein **schweres Schädel-Hirn-Trauma** (SHT) auf, ebenso viele eine **schwere Thoraxverletzung**, 23 % eine **schwere Extremitäten- und/oder Beckenverletzung** und 10 % eine **schwere abdominelle Verletzung** (Abb. 1) [1].

Durch die medizinischen Fortschritte der letzten Jahre konnte die traumabedingte Sterblichkeit signifikant von etwa 40 % in den 1970er-Jahren auf inzwischen unter 15 % reduziert werden.

Zahlen und Fakten zur intensivmedizinischen Versorgung von Schwerverletzten gemäß Daten aus dem TraumaRegister DGU®

Für den Zeitraum 2020–2022 wurde ermittelt, dass 84 % der im Basiskollektiv des TR-DGU erfassten Patientinnen und Patienten intensivmedizinisch behandelt wurden. Dabei erfolgte die Intensivauf-

nahme” mindestens zwei Körperregionen relevant verletzt und mindestens ein physiologisches Problem wie Hypotension, Bewusstlosigkeit etc.).

Die **Behandlungsdauer** schwerverletzter Patientinnen und Patienten (ISS ≥ 16) auf der Intensivstation konnte insgesamt über die letzten Jahrzehnte kontinuierlich reduziert werden. Dies erklärt sich in erster Linie durch eine signifikant geringere Rate von Patientinnen und Patienten, die zum Zeitpunkt der Aufnahme auf die Intensivstation **intubiert** waren. Subgruppenanalysen konnten in diesem Kontext zeigen, dass sich die Dauer des Intensivaufenthalts bei nicht-beatmeten Patientinnen und Patienten in diesem Zeitraum signifikant verkürzte, wohingegen sie bei Beatmeten im selben Zeitraum weitgehend konstant blieb [2]. Die aktuellen Daten aus dem TraumaRegister DGU® zur intensivmedizinischen Versorgung sind in Tabelle 1 zusammengefasst [1].

Zur **Prognoseabschätzung** schwerverletzter Patientinnen und Patienten hat sich die **Revised Injury Severity Classification (RISC)** (Version II) bewährt, die 13 Faktoren (u. a. Alter, Geschlecht, neurologischer Befund, Blutdruck, Ge-

Tabelle 1

Intensivmedizinische Versorgung schwerverletzter Patientinnen und Patienten gemäß Daten aus dem TraumaRegister DGU® (modifiziert nach [1]). Als Vergleichskollektiv zum Basiskollektiv des Jahres 2022 (TR-DGU 2022) dienen die Registerdaten aus den Jahren 2013–2022 (TR-DGU 10 Jahre).

	TR-DGU 2022	TR-DGU 10 Jahre
Intensivmedizinische Behandlung (% vom Basiskollektiv)	84 %	86 %
Therapiemaßnahme		
Medikamentöse Hämostase-Therapie	12,2 %	14,2 %
Nierenersatztherapie	2,1 %	2,1 %
Gabe von EK, FFP (in den ersten 48 h nach ITS-Aufnahme)	24,0 %	25,0 %
Maschinelle Beatmung/Intubation	34,0 %	36,0 %
Komplikationen auf der ITS		
Organversagen	29,4 %	32,2 %
Multiorganversagen	15,6 %	18,5 %
Sepsis	4,9 %	5,4 %
Intensivverweil- und Beatmungsdauer		
Dauer der Intubation [Tage; MW \pm SA]	6,9 \pm 9,5 (Median 3)	7,3 \pm 10,2 (Median 3)
ITS-Verweildauer [Tage; MW \pm SA]	6,0 \pm 9,4 (Median 2)	6,3 \pm 9,9 (Median 2)

ITS: Intensivstation; EK: Erythrozytenkonzentrat; FFP: gefrorenes Frischplasma; MW: Mittelwert; SA: Standardabweichung.

rinnung, Basendefizit, kardiopulmonale Reanimation) berücksichtigt. Dabei gilt: je größer der Score-Wert, desto höher die (prognostizierte) Sterblichkeit [3].

Derzeit versterben in Deutschland ca. 12 % der Verunfallten an den Traumafolgen bereits im Rahmen der Akutbehandlung. Dabei weist die durch das Trauma bedingte Sterblichkeit drei zeitliche Gipfel auf:

- Der erste Gipfel, als **Sekundentod** bezeichnet, beinhaltet als Todesursache alle unmittelbar mit dem Leben nicht vereinbaren Verletzungen.
- Der zweite Gipfel wird als **frühe Sterblichkeit** innerhalb der ersten Stunden nach dem Trauma bezeichnet und ist u. a. durch Verletzungen der Atemwege, durch einen Spannungspneumothorax, einen Blutungsschock oder ein schweres SHT verursacht.
- Der dritte Gipfel, auch **späte Sterblichkeit** genannt, findet sich innerhalb von 2–3 Wochen nach dem Trauma und wird u. a. durch Sepsis und Multiorganversagen verursacht.

Aktuelle Registerdaten zur Prognose und zu Überlebensraten sind in Abhängigkeit vom jeweiligen Verletzungsmuster in Tabelle 2 zusammengefasst.

Therapeutische Konzepte

Allgemeine Betrachtungen

Die Versorgung von schwerverletzten bzw. polytraumatisierten Patientinnen und Patienten ist eine interdisziplinäre Herausforderung. In diesem Kontext sei explizit auf die interdisziplinär erstellte und sehr detaillierte **S3-Leitlinie Polytrauma / Schwerverletzten-Behandlung** hingewiesen, die unlängst in einer überarbeiteten und aktualisierten Version veröffentlicht wurde [4].

Von besonderer Relevanz für die Versorgung von akut lebensgefährlich verletzten Patientinnen und Patienten ist eine adäquate und zeitnahe Erkennung des **Verletzungsmusters** und die unmittelbare **Therapie vital bedrohlicher Verletzungen** [5]. Der Faktor Zeit spielt somit eine zentrale Rolle, so dass eine große Leitlinienadhärenz erforderlich ist. Wichtig in diesem Kontext ist, dass nicht nur durch das Trauma unmittelbare verursachte **Primärschäden**, sondern auch im zeitlichen Verlauf potenziell entstehende **Sekundärschäden** beachtet und möglichst verhindert werden müssen. Diese Sekundärschäden können u. a. durch das Trauma selbst (z. B. durch eine nicht beherrschbare Blutung), durch logistische Faktoren (z. B. eine protra-

hiert verlaufende technische Rettung) oder aber durch iatrogene Faktoren (z. B. unzureichende Volumentherapie oder überdimensionierte frühe operative Versorgung) verursacht sein. Aus diesem Grunde gilt es, jede diagnostische und therapeutische Maßnahme hinsichtlich der potenziellen Entstehung von Sekundärschäden zu hinterfragen.

Im Rahmen der initialen Stabilisierung sind vorrangig die Kreislauf-funktionen und die Oxygenierung sicherzustellen, Blutungen zu stoppen und Koagulopathie, Azidose und Hypothermie zu verhindern bzw. zu korrigieren [4].

Verschiedene Arbeiten konnten zeigen, dass durch Umsetzung des so genannten **Damage-Control-Konzepts** die Letalität polytraumatisierter Patientinnen und Patienten gesenkt werden kann. Dieses Konzept basiert auf der Hypothese, dass der klinische Verlauf nach einem Trauma durch drei Faktoren beeinflusst wird:

- das initiale Trauma (first hit)
- individuelle Faktoren (Alter, genetische Faktoren wie z. B. Geschlecht etc.) sowie
- Zeitpunkt und Schwere medizinischer Interventionen wie Operationen und Transfusionen (second hit).

Letztgenannter Punkt umfasst u. a. eine frühzeitige Reposition und Frakturstabilisierung von langen Röhrenknochen, die Kontrolle innerer Organverletzungen/-blutungen sowie die lokale Hämostase kombiniert mit anderen chirurgischen Verfahren. Ziel dieses Konzepts ist es, durch Vermeidung von **Hypothermie, Hämorrhagie und Azidose** (sog. **letale Trias**) einen Circulus vitiosus zu verhindern und die posttraumatische Letalität zu senken (Abb. 2) [6–11].

Als pragmatische Lösung zur Identifikation einer diesbezüglichen Risikopopulation wurde die so genannte **6er-Regel** entwickelt, die bei der Entscheidungsfindung zur Anwendung des Damage-Control-Konzepts helfen soll [12]. So sollte dieses bei Vorliegen einer der folgenden Punkte in Betracht gezogen werden:

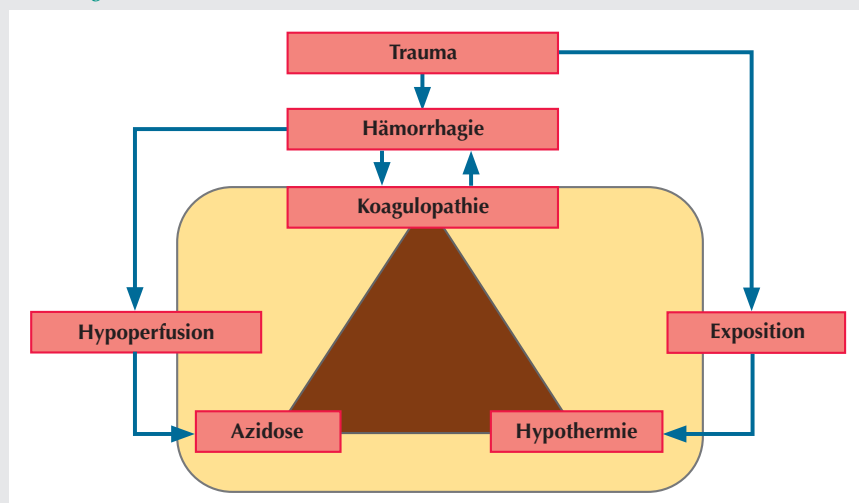
Tabelle 2

Intensivmedizinische Versorgung schwerverletzter Patientinnen und Patienten in Deutschland. Subgruppenanalysen zu Liegezeit, Sterblichkeit und Prognose 2020–2022 aus dem TraumaRegister DGU[®] (modifiziert nach [1]).

	Alle	Subgruppen					
		Ohne SHT	Kombi-Trauma	Isoliertes SHT	Schock	Lebensgefährlich verletzt	Ältere
ITS-Liegedauer							
Patientinnen und Patienten mit Intensivtherapie							
Intubation auf ITS [Tage, MW]	6,9	5,6	8,1	6,2	7,8	7,9	6,4
Intensivstation [Tage, MW]	5,9	4,6	7,6	6,2	11,1	9,9	6,0
Letalität und Prognose							
(ohne Therapiebegrenzung, innerhalb der ersten Woche verstorben)							
Sterblichkeit [%]	7,7	3,8	10,5	16,9	28,9	22,6	15,1
Sterblichkeits-Prognose (nach RISC II) [%]	8,2	4,0	11,6	16,7	32,7	23,9	15,8

SHT: Schädel-Hirn-Trauma; **RISC II:** Revised Injury Severity Score Vers. 2; **ITS:** Intensivstation; **MW:** Mittelwert.

Abbildung 2



Letale Trias im Rahmen des Polytraumas: Azidose, Koagulopathie und Hypothermie.

- Quick-Wert < 60 % oder INR $> 1,6$
- Basendefizit > 6 mmol/l
- Thrombozytenzahl $< 60.000/\mu\text{l}$
- Hb-Gehalt < 6 g/dl
- Alter > 60 Jahre und
- ein Zeitraum von Unfall bis zur operativen Versorgung > 6 Stunden.

Besonderheiten der Polytraumaversorgung auf der Intensivstation

Grundsätzliche Aufgaben und Therapieziele

Das intensivmedizinische Team übernimmt bei der Versorgung von schwer unfallverletzten Patientinnen und Patienten u. a. folgende Aufgaben [13,14]:

- Wiederherstellung und Aufrechterhaltung der Vitalfunktionen
- Vermeidung bzw. Behandlung der traumabedingten letalen Trias
- Secondary und/oder Tertiary Check: erneute sorgfältige Untersuchung des Patienten
- Erstellen eines individuellen Therapieplans und Koordinierung der diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen unterschiedlicher Fachgebiete
- Optimierung der Bedingungen und Zeitplanung für Sekundäroperationen
- allgemeine Intensivtherapie.

Der **Sekundärcheck** (secondary check) wird oftmals nach Aufnahme auf der In-

tensivstation vorgenommen, d. h. nachdem die notwendigen Erstmaßnahmen durchgeführt und die Vitalfunktionen stabilisiert worden sind. Dieser zweite Check umfasst eine lückenlose körperliche Untersuchung, um möglichst alle anatomischen Verletzungen zu erkennen. Es gilt, Hinweise auf Frakturen, Bandläsionen, Gefäß- und Nervenverletzungen zu finden. Bei entsprechendem Verdacht sollte eine weiterführende (bildgebende) Diagnostik folgen. Zusätzliche Labortests, abhängig vom individuellen Verletzungsmuster, werden nach Indikation ergänzt. Außerdem sollte spätestens zu diesem Zeitpunkt eine dezidierte Fremd-Anamnese hinsichtlich des Unfallmechanismus, der Vorerkrankungen und der Vomedikation (insbesondere Antikoagulanzen) erhoben werden. Entwickelt sich während des Primär- bzw. des Sekundärchecks eine Organfunktionsstörung, erfolgt eine sofortige Re-Evaluation nach dem ABCDE-Schema. Eine Kontroll-Bildgebung – primär in der Regel eine Ganzkörper-Spiral-Computertomographie – ist in solchen Situationen zu erwägen, ebenso wie die erneute Durchführung eines eFAST (Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma).

Beim Primär- und Sekundärcheck werden etwa 10 % der Verletzungen eines Polytraumas übersehen. Bei mehr als

50 % dieser Patientinnen und Patienten hat dies Einfluss auf die weitere Therapie, und 25 % benötigen eine zusätzliche Operation. Daher wird empfohlen, auf der Intensivstation innerhalb der ersten 24 Stunden nach dem Trauma eine systematische Nachuntersuchung im Sinne eines **Tertiärchecks** (tertiary check) durchzuführen. Hierdurch können mehr als 50 % aller übersehenen Verletzungen und 90 % der klinisch relevanten Verletzungen erkannt werden.

Gerinnungsmanagement

Ungefähr ein Drittel aller Patientinnen und Patienten mit einem Polytrauma weisen bereits im Schockraum eine **manifeste Gerinnungsstörung** auf. Schwere Verletzungen führen regelhaft zu einer frühen Gerinnungsstörung, der so genannten **traumainduzierten Koagulopathie** (TIK), die maßgeblich durch die Schwere des Schocks sowie durch Azidose, Hypothermie und Verdünnungskagulopathie bestimmt wird [15]. Die TIK ist also integraler Bestandteil der oben beschriebenen letalen Trias, die seit einigen Jahren um die Hypokalzämie erweitert worden ist und damit zum **diamond of death** wird [15].

Die Entgleisung der Gerinnung kann wiederum eine **systemische Inflammation** auslösen. Große und lange operative Eingriffe können Gerinnungsstörungen verstärken und sollten daher im Sinne des Damage-Control-Konzepts in dieser Phase kritisch abgewogen werden. Entsprechend den Empfehlungen aktueller Leitlinien ist es wichtig, die Gerinnungsstörung standardisiert und wiederholt zu erfassen. Hierzu sollten folgende Parameter bzw. Globaltests bestimmt werden:

- Blutgasanalyse inkl. Hämoglobin-Gehalt und Hämatokrit
- Thrombozytenzahl
- Quick- und aPTT-Wert
- Fibrinogenkonzentration.

Viskoelastische Testverfahren mit differenzierter Aussagemöglichkeit werden heutzutage bei blutenden Schwerverletzten zur Steuerung der Gerinnungsdiagnostik und -substitution frühzeitig empfohlen [16]. Zudem sollte auch

die Thrombozytenfunktion diagnostisch erfasst werden. Eine der wichtigsten Aufgaben auf der Intensivstation ist es, aggressiv und prospektiv eine weitere Entgleisung der Gerinnung zu verhindern und die Gerinnung zu normalisieren.

Neben der **chirurgischen Blutstillung** (z. B. mittels manueller Kompression mit Kompressionsverbänden, Tourniquets oder Hämostyptika) gehört dazu die **Gabe von Blutprodukten**, für die ein standardisiertes Protokoll im Rahmen einer Massivtransfusion empfohlen wird [17]. Da eine Beeinträchtigung der Gerinnung auch von der Höhe des Hämoglobin-Gehalts abhängt, empfehlen die Leitlinien bei massiv blutenden Patientinnen und Patienten einen Zielwert von 7–9 g/dl. Es liegen gute Hinweise vor, dass bei Massivtransfusionen **Erythrozytenkonzentrate (EK)** und **gefrorene Frischplasmen (FFP)** von Beginn an im Verhältnis von 2:1 bis 1:1 gegeben werden sollten, bedarfsweise ergänzt um die Gabe von Thrombozytenkonzentraten (TK) [12].

Wird die Gerinnungstherapie bei Massivtransfusion durch die Gabe von FFP durchgeführt, sollte ein Verhältnis von FFP:EK:TK im Bereich von 4:4:1 angestrebt werden.

Für die **Thrombozytensubstitution** werden folgende Empfehlungen zur Thrombozytenzahl gegeben: Aufrechterhaltung von 50.000/ μ l, bei anhaltender oder intrakranieller Blutung von 100.000/ μ l. Sofern eine Störung der Thrombozytenfunktion vorliegt (z. B. unter Therapie mit Thrombozytenaggregationshemmern), wird bei relevanter oder intrakranieller Blutung eine Thrombozytensubstitution empfohlen, zudem die Gabe von 0,3 μ g/kg Desmopressin.

In der CRASH-2-Studie [18] konnte gezeigt werden, dass die frühzeitige Gabe des Antifibrinolytikums **Tranexamsäure** bei unfallverletzten Patientinnen und Patienten mit akuten Blutungen sowohl die Gesamtmortalität als auch das Risiko fataler Blutungen signifikant reduzieren kann. Dabei scheint ein möglichst frühzeitiger Therapiebeginn in der ersten

Stunde besonders vorteilhaft, während sich ein Beginn mehr als drei Stunden nach Trauma als eher nachteilig erwiesen hat. Zu beachten ist,

- dass die Gabe von Tranexamsäure nicht unreflektiert und „automatisch“ bei jeder bzw. jedem Verletzten ohne Berücksichtigung der Verletzungsschwere erfolgt und
- dass die Substanz nicht verabreicht wird, sofern der Unfall > 3 h zurückliegt und keine Hyperfibrinolyse besteht.

Steht die Indikation zur Gabe von Tranexamsäure, so wird initial 1 g über 10 min als Kurzinfusion verabreicht, gefolgt von einer kontinuierlichen Infusion von 1 g über 8 h.

Bei anhaltendem Blutverlust kann die **Substitution von Gerinnungsfaktoren** durch die ausschließliche Gabe von FFP nicht ausreichend sein, so dass zusätzlich Fibrinogen und PPSB verabreicht werden müssen. So wird initial die Gabe von 3–6 g (bzw. 30–60 mg/kg) Fibrinogen empfohlen, um einen Zielwert von > 1,5 g/l zu erreichen. Die Empfehlung für die Initialgabe von PPSB liegt bei 20–25(–40) IE/kg.

Vor allem im Rahmen einer Massivtransfusion bedarf es der intravenösen Gabe von **Kalzium** (z. B. Kalziumglukonat 10 %; Zielwert: Normalbereich); außerdem sind ein **pH-Wert** > 7,2 (ggf. durch die Gabe von Natriumbikarbonat 8,4 %) sowie eine **Normothermie** (durch aktive Wärmetherapie) zentrale Elemente eines erfolgreichen Gerinnungsmanagements.

Bei einer lebensbedrohlichen Blutung unter Therapie mit **direkten oralen Antikoagulanzen (DOAK)** sollte ein **spezifisches Antidot** gegeben werden:

- **Idarucizumab** bei vorausgehender Einnahme von Dabigatran bzw.
- **Andexanet alfa** bei vorausgehender Einnahme von Rivaroxaban, Apixaban oder ggf. Edoxaban.

Andexanet alfa wird als Bolus, gefolgt von einer Dauerinfusion, verabreicht. Es wird in Abhängigkeit vom verwendeten Faktor-Xa-Inhibitor, dessen Dosis und dem Zeitabstand zur letzten Einnahme zwischen einem Niedrig-Dosis-Regime (400 mg Bolus mit 30 mg/min über ca. 15 Minuten, 480 mg als Infusion 4 mg/min über 120 Minuten) und einem Hoch-Dosis-Regime (800 mg Bolus mit 30 mg/min über ca. 30 Minuten, 960 mg als Infusion 8 mg/min über 120 Minuten) unterschieden (Tab. 3) [19]. Wenn kein spezifisches Gegenmittel verfügbar ist, sollten 25–50 IE/kg PPSB verabreicht werden. In beiden Fällen ist die Therapie jeweils mit 1 g Tranexamsäure zu kombinieren.

Im Falle einer persistierenden, exzessiven Blutung und nach Ausschöpfung aller genannten Therapieoptionen kann im Sinne eines individuellen Heilversuchs **aktivierter rekombinanter Faktor VII (r-FVIIa)** mit einer Initialdosis von 90 μ g/kg eingesetzt werden (cave: Off-Label-Use). Auch kann bei anhaltender Blutung trotz normaler Gerinnungswerte eine Substitution von **Faktor XIII** (fibrin-stabilisierender Faktor) erwogen werden (Dosis 15–20 IE/kg).

Tabelle 3

Dosierung von Andexanet alfa für die Antagonisierung der direkten oralen Faktor-Xa-Inhibitoren (nach [19]).

Inhibitor	Letzte Dosis	Letzte Einnahme \leq 8 h	Letzte Einnahme
Apixaban	\leq 5 mg	Niedrige Dosis	Niedrige Dosis
	> 5 mg	Hohe Dosis	Niedrige Dosis
Edoxaban ^a	\leq 30 mg	Niedrige Dosis	Niedrige Dosis
	> 30 mg	Hohe Dosis	Niedrige Dosis
Rivaroxaban	\leq 10 mg	Niedrige Dosis	Niedrige Dosis
	> 10 mg	Hohe Dosis	Niedrige Dosis

a: Derzeit keine EU-Zulassung von Andexanet alfa bei akuten lebensbedrohlichen Blutungen unter Edoxaban, nur in Japan.

Vermeidung thrombembolischer Komplikationen

Es muss davon ausgegangen werden, dass klinisch relevante Thrombosen bei etwa 4 % der polytraumatisierten Patientinnen und Patienten auftreten, ca. 2/3 als tiefe Venenthrombosen und 1/3 als Lungenarterienembolien. Als unabhängige Risikofaktoren für das Auftreten einer tiefen Venenthrombose oder Thrombembolie gelten Alter, Verletzungsschwere, Fraktur von Femur, Tibia oder Becken, Rückenmarkverletzung, Schädel-Hirn-Trauma, Anzahl großer Operationen, Bluttransfusion, Beatmungsdauer > 3 Tage und Vorerkrankungen wie Diabetes mellitus, Nierenerkrankung, Karzinomkrankung und hereditäre oder erworbene Gerinnungsstörungen [20]. Bei der Entscheidung für den Beginn einer medikamentösen Thromboseprophylaxe muss das Blutungsrisiko gegen das Thromboserisiko abgewogen werden. Die europäische Leitlinie empfiehlt in diesem Kontext eine **medikamentöse Thromboseprophylaxe** innerhalb von 24 Stunden, nachdem die Blutungen kontrolliert werden konnten, außerdem eine frühe mechanische Thromboseprophylaxe mittels intermittierender pneumatischer Kompression [16]. Die prophylaktische Anlage eines V. cava-Filters wird nicht empfohlen und bleibt Einzelfällen vorbehalten.

Die medikamentöse Thromboseprophylaxe sollte anhand des individuellen Risikoprofils gesteuert werden. In der Regel wird diese im Verlauf z. B. mit einem niedermolekularen Heparin in der Dosierung für Hochrisikopatientinnen und -patienten durchgeführt. Alternativ kann unfractioniertes Heparin kontinuierlich über einen Perfusor verabreicht werden. Im weiteren intensivstationären Verlauf kann reaktiv eine Thrombozytose mit Thrombozytenzahlen > 500.000–1.000.000/µl (zumeist passager) auftreten. In diesen Fällen kann die Gabe eines Thrombozytenaggregationshemmers, z. B. ASS 100 mg/d, erwogen werden. Eine sichere Datenbasis für ein derartiges Vorgehen liegt allerdings nicht vor. Bei der Thromboseprophylaxe darf auf keinen Fall die **Frühmobilisation** – soweit möglich – vergessen werden!

Besondere (Begleit-)Verletzungen und Krankheitsbilder

Schädel-Hirn-Trauma

Verletzungen des Schädels und Gehirns können unmittelbar oder im weiteren Verlauf schwerwiegende Folgen nach sich ziehen. Blutungen, Ödem, Gefäßverletzungen (inkl. Gefäßdissektion) sind mögliche Pathologien. Ein begleitendes Thoraxtrauma verschlechtert dabei – unabhängig von seiner Schwere – das neurologische Outcome [21].

Leitsymptome einer intrakraniellen Druckerhöhung sind Bewusstseinsstörungen und eine Störung der Pupillenreaktion.

Diese Symptome treten in der Regel allerdings erst relativ spät im Verlauf auf und erfordern daher ein unmittelbares Handeln [22].

Raumfordernde intrakranielle Verletzungen stellen eine dringliche Operationsindikation dar. Dies gilt sowohl für traumatische intrakranielle Blutungen (Epiduralhämatom, Subduralhämatom, intrazerebrale Hämorrhagien) als auch für raumfordernde Impressionsfrakturen. Dabei ergibt sich die Definition der Raumforderung durch die Verlagerung zerebraler Strukturen, insbesondere des in der Mittellinie gelegenen 3. Ventrikels. In solchen klinischen Situationen korreliert eine schnelle Versorgung erwiesenermaßen mit einem besseren Outcome [23].

Offene oder geschlossene Impressionsfrakturen ohne Verlagerung der Mittellinienstrukturen, penetrierende Verletzungen und basale Frakturen mit Liquorrhoe stellen hingegen Operationsindikationen mit aufgeschobener Dringlichkeit dar. Zur Verlaufskontrolle sollte der **intrakranielle Druck (ICP)** kontinuierlich gemessen werden. Dies kann mittels einer **Parenchymsonde** (ggfs. mit Option zur Messung des zerebralen Sauerstoffpartialdrucks p_{iO_2}) oder einer **externen Ventrikeldrainage (EVD)** erfolgen. Ein Anstieg des ICP auf über 20 mmHg muss dabei größte Aufmerksamkeit hervorrufen, da die Beziehung

zwischen intrakraniell Volumen und ICP gemäß der Monro-Kellie-Doktrin nicht linear verläuft und mit Zunahme der Pathologie eine geringe Volumenzunahme mit einem überproportionalen Anstieg des ICP verbunden ist.

Historischer Goldstandard zur Messung des intrakraniellen Drucks ist die direkte Manometrie im Seitenventrikel, üblicherweise über einen Drainagekatheter, an den ein externer Druckaufnehmer angeschlossen wird (EVD). Die Nullpunkt-Kalibrierung des Systems erfolgt in Höhe des äußeren Gehörgangs (zur Überwachung des zerebralen Perfusionsdrucks) und muss nach jeder Lageänderung der Patientin bzw. des Patienten neu überprüft werden. Der Vorteil dieser Methode liegt in der möglichen Liquordrainage, die als effektive ICP-senkende Therapie zur Verfügung steht. Vielerorts wird mit einem so genannten Hanni-Set und einer Überlaufkammer gearbeitet. Moderne Systeme stellen rollenpumpengesteuert die Möglichkeit zur druck- oder flussgesteuerten Drainage von Liquor sicher. Es sind nach initialer Konnektion unter streng sterilen Kautelen keine weiteren Manipulationen am System notwendig. Als nichtinvasive Verfahren zur (punktuellen) Abschätzung des intrakraniellen Drucks dienen die Computertomografie (CT) und Magnetresonanztomografie (MRT). Erstere ist schnell verfügbar und höchst kosteneffektiv, die MRT erlaubt hingegen eine feinere Gewebebeurteilung und differenzierte Bewertung zerebraler Läsionen. Die transkraniale Doppler-Sonographie dient vorrangig der Erfassung der Blutflussgeschwindigkeiten zur Erkennung zerebraler Vasospasmen im Rahmen einer aneurysmatischen Subarachnoidalblutung, sie kann allerdings auch Hinweise auf einen erhöhten ICP liefern. Eine weitere Option zur Abschätzung des ICP stellt die transorbitale sonographische Bestimmung des Durchmessers der Scheide des N. opticus dar, der mit dem ICP korreliert. Die Bestimmung ist günstig, effizient und zeitsparend, allerdings bedarf es einer entsprechenden Expertise. Die begrenzte Datenlage zeigt, dass bei Nichtverfügbarkeit invasiver Verfahren dies eine hilfreiche Option sein kann. Es konnte je nach Studie

für das Vorliegen einer intrakraniellen Hypertension ($ICP > 20 \text{ mmHg}$) eine Sensitivität und Spezifität zwischen 88 und 95 % bzw. 74 und 96 % ermittelt werden [24]. Weitere Entwicklungen zielen darauf ab, die Pupillenweite und die Pupillenreaktion auf Licht (direkt und indirekt) automatisiert und standardisiert zu messen. Erste Daten legen nahe, dass auch dieses Verfahren Rückschlüsse auf einen erhöhten intrakraniellen Druck zulässt [25]. Methoden zur Bewertung der Verlagerung des Trommelfells sind ungenau und nicht reliabel und sollten daher nicht zur Abschätzung des ICP eingesetzt werden.

Eine zuverlässige kontinuierliche Überwachung kritisch kranker Patientinnen bzw. Patienten mit einem erhöhten intrakraniellen Druck ist mit

nichtinvasiven Methoden ist gemäß aktueller Datenlage nicht gewährleistet.

Bei (Verdacht auf) Schädel-Hirn-Trauma werden in der aktuellen Leitlinie u. a. folgende diagnostische und therapeutische Empfehlungen für die Primärversorgung im Schockraum und auf der Intensivstation ausgesprochen [4]:

- Durchführung einer kraniellen Computertomographie (cCT) bei Verdacht auf eine Schädel-Hirn-Verletzung bei Polytraumatisierten
- Aufrechterhalten bzw. Wiederherstellen von **Normoxie, Normokapnie und Normotonie**: Vermeiden eines Absinkens der Sauerstoffsättigung unter 90 % und eines systolischen Blutdrucks unter 110 mmHg (beim Erwachsenen)

- Sicherung des Atemweges durch Intubation und adäquate Beatmung (gesteuert über Kapnometrie und Blutgasanalyse [26]) bei Patientinnen und Patienten mit Glasgow Coma Scale (GCS)-Werten ≤ 8
- Durchführung einer (Kontroll-) cCT im Falle einer neurologischen Verschlechterung
- Durchführung einer Verlaufs-cCT innerhalb von 8 Stunden bei Bewusstlosen und / oder Verletzungszeichen in der initialen cCT (insbesondere bei dekompensierter Gerinnungssituation)
- Verzicht auf die Gabe von Glukokortikoiden.

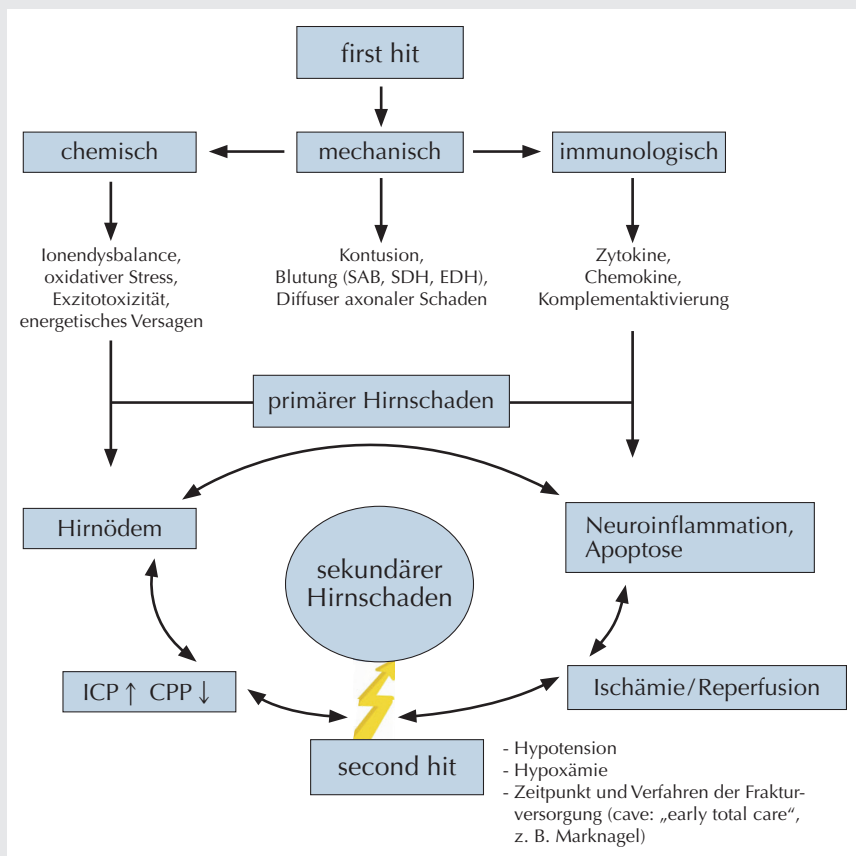
Die Pathophysiologie der Entstehung eines erhöhten intrakraniellen Drucks, der über den initialen, primären Schaden hinaus seinerseits zu sekundären Hirnschäden führen kann [22], ist in Abbildung 3 dargestellt. Um dem entgegenzuwirken, wird empfohlen, sowohl den systemischen als auch den zerebralen Perfusionsdruck zu optimieren sowie Hyperthermie und Blutzuckerentgleisungen zu vermeiden. Bei schweren ICP-Krisen, insbesondere bei Zeichen der transtentoriellen Herniation (Pupillenerweiterung, Strecksynergismen, Streckreaktion auf Schmerzreiz, progrediente Bewusstseinstörung), kann neben einer hyperosmolaren Therapie auch eine kurzfristige Hyperventilation angewandt werden (Abb. 4) [4,27].

Thoraxtrauma

Verletzungen des Thorax sind sehr häufig (Tab. 4) und zumeist Folgen einer stumpfen Gewalteinwirkung; penetrierende Verletzungen sind dagegen deutlich seltener [28]. Eine akute vitale Bedrohung liegt vor bei:

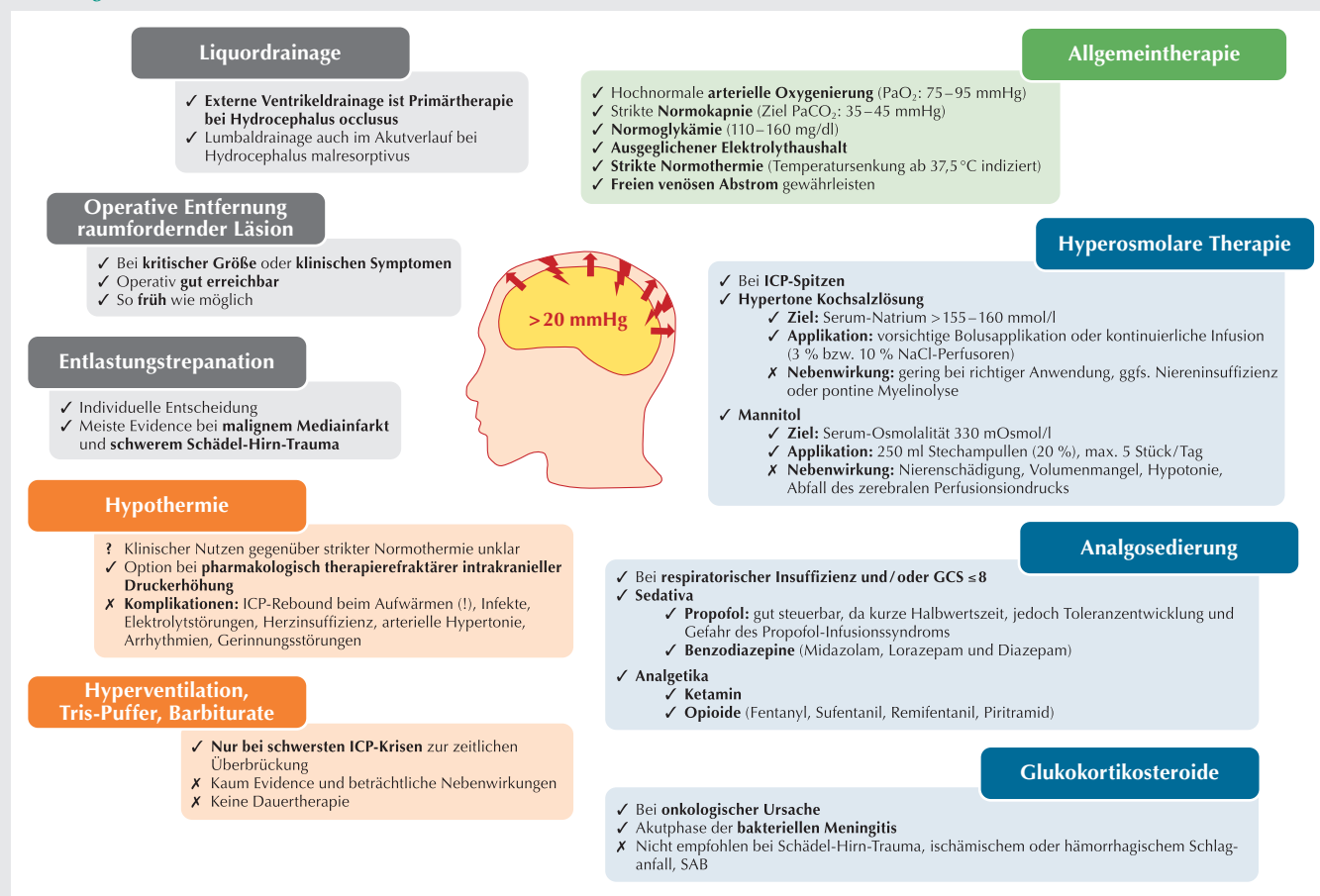
- intrathorakalem Druckanstieg, z. B. durch Spannungspneumothorax, Mediastinalemphysem etc.
- Perikardtamponade
- Hämatothorax
- penetrierenden Traumen (10 %)
- Lungenkontusionen.

Abbildung 3



Pathophysiologie der Entstehung sekundärer Hirnschäden beim Schädel-Hirn-Trauma (modifiziert nach [22]). **SAB**: Subarachnoidalblutung; **SDH**: Subduralhämatom; **EDH**: Epiduralhämatom; **ICP**: intrakranieller Druck; **CPP**: zerebraler Perfusionsdruck.

Abbildung 4



Therapeutische Maßnahmen zur Kontrolle des intrakraniellen Drucks (modifiziert nach [27]). ICP: intrakranieller Druck; PaO_2 : arterieller Sauerstoffpartialdruck; PaCO_2 : arterieller Kohlendioxidpartialdruck; GCS: Glasgow Coma Scale.

Tabelle 4

Thorakale Verletzungen nach stumpfem Trauma und Häufigkeit der jeweiligen Verletzungsmuster (aus [28]).

Thorakale Verletzungen	Häufigkeit
Rippenfraktur	86,4 %
>3 Rippen	61,8 %
bilateral	22,7 %
instabiler Thorax	6,4 %
Pneumothorax	59,1 %
Lungenkontusion	50,0 %
Hämatothorax	21,8 %
Clavicula	18,9 %
Sternumfraktur	15,5 %
Scapula	12,7 %
Herzkontusion	10,0 %
Zwerchfellruptur	1,8 %
Aortenruptur	0,9 %
Tracheobronchialsystem	0,9 %

Bei einem großen Teil der Patientinnen und Patienten finden sich Rippenfrakturen; ein Pneumothorax liegt in ca. 60 % der Fälle vor. In dieser Situation kann sich (insbesondere nach Beginn einer Positiv-Druckbeatmung) ein **Spannungspneumothorax** entwickeln, der eine umgehende Entlastung erforderlich macht. Leitsymptom bei Nicht-intubierten ist eine akute Dyspnoe, verbunden mit einem ipsilateral fehlenden Atemgeräusch und gestauten Halsvenen, die jedoch bei einem gleichzeitig vorhandenen hämorrhagischen Schock fehlen können. Durch den erhöhten intrathorakalen Druck kann der ipsilaterale Hemithorax vorgewölbt erscheinen, und typischerweise liegt auf dieser Seite ein hypersonorer Klopfeschall vor. Weiterhin führt der akute Druckaufbau auf der Seite des Spannungspneumothorax zu

einer kontralateralen Verschiebung des Mediastinums (sog. Mediastinal-Shift), so dass Herzfüllung und -auswurf kompromittiert werden und ein obstruktiver Schock resultiert.

Bei beatmeten Patientinnen und Patienten mit Thoraxtrauma muss bei jeder Erhöhung des Beatmungsdrucks ein Spannungspneumothorax ausgeschlossen werden.

Zur bettseitigen Diagnostik wird neben dem (meist zeitaufwendigen) Anfertigen eines Röntgenbilds des Thorax zunehmend die **Pleurasonographie** eingesetzt. Die Therapie besteht in einer unverzüglichen Druckentlastung durch eine rasche Pleuraeröffnung. Diese kann an folgenden Positionen erfolgen:

- im 4. oder 5. Interkostalraum (ICR) in der mittleren Axillarlinie (**Bülau-Position**) oder
- im 2. oder 3. ICR in der Medioklavikularlinie (**Monaldi-Position**).

Bei der Schnittführung für die Minithorakotomie in Bülau-Position sollte die Mamillen-Linie nicht unterschritten werden, um Leber und Milz nicht zu gefährden. Bei der Monaldi-Position darf nicht zu nah am Sternum eingegangen werden, um u. a. Verletzungen der A. thoracica interna zu vermeiden.

Eine **Perikardtamponade** ist charakterisiert durch die so genannte Beck-Trias:

- leise Herztöne
- Blutdruckabfall und
- gestaute Jugularvenen als Zeichen einer oberen Einflusstauung, sofern keine schwere Hypovolämie vorliegt.

Zusätzlich finden sich häufig eine akute Dyspnoe und Tachykardie. Die Sicherung der Diagnose erfolgt mit Hilfe der **Echokardiographie**. Eine klinisch relevante Herzbeuteltamponade sollte unverzüglich durch eine apikale oder subxiphoidale Punktion unter sonographischer Kontrolle entlastet werden. Alternativ stellen eine chirurgische Dekompression durch Notthorakotomie bzw. Perikardfenestration über einen subxiphoidalen Zugang therapeutische Optionen dar.

Während starke äußere Blutungen durch Kompressionsverband, Tourniquet oder Gefäßklemmen temporär gestillt werden können, stellen die inneren Blutungen im Abdomen, Thorax, Retroperitoneum oder bei multiplen Frakturen der langen Röhrenknochen die wichtigste vitale Bedrohung beim Polytrauma dar. Bei ausgedehntem **Hämatothorax** wird initial eine Bülau-Drainage über eine Minithorakotomie eingelegt. Die Angaben zur Indikation zur Thorakotomie bei kontinuierlichem Blutverlust über die liegende Thoraxdrainage variieren in der Literatur. Gemäß der aktuellen S3-Polytrauma-Leitlinie [4] sollte eine Thorakotomie bei einem initial hohen Blutverlust aus der Thoraxdrainage (z. B. >1000 ml) oder bei einem anhaltend

relevanten Blutverlust (z. B. >250 ml/h über mehrere Stunden) erfolgen, bei hämodynamisch stabilen Patientinnen bzw. Patienten als videoassistierte Thorakoskopie. Bei Lungenverletzungen mit persistierender Blutung und/oder Luftleckage sollte – je nach Ausmaß und Lokalisation der Lungenverletzungen – eine Thorakotomie mit Übernähung der Läsion oder entsprechender Geweberesektion durchgeführt werden. Luftleckagen lassen sich durch endobronchiale Blockaden (Bronchusblocker, seitentgetrennte Ventilation mittels Doppel-lumentubus) behandeln.

Ausgeprägte **Lungenkontusionen** werden häufig bereits in der initialen CT-Untersuchung nachgewiesen. Die Minderbelüftung der kontusierten Lungenareale wird oftmals durch die Minderbelüftung posterobasaler Lungenpartien, in denen sich ödematöse und atelektatische Lungenverdichtungen bilden, aggraviert, so dass es zu einer zunehmenden **Oxygenierungsstörung** bis hin zum akuten Lungenversagen kommen kann. Die grundlegenden Konzepte u. a. zur maschinellen Beatmung bei polytraumatisierten Patientinnen und Patienten wurden jüngst in einer S3-Leitlinie zusammengefasst [13]. Die Anwendung eines positiv-endexpiratorischen Drucks (PEEP) und eine entsprechende **Lagerungstherapie** mit 135°-Wechsellagerung bzw. intermittierender Bauchlage stellt demnach bei Lungenfunktionsstörungen nach einem schweren Thoraxtrauma mit Lungenkontusionen eine zentrale Behandlungsoption dar. Da bei unversorgten bzw. instabilen Verletzungen des Achsen skeletts eine klassische Lagerungstherapie nur eingeschränkt möglich ist, kann der Einsatz eines Spezialbetts zur sog. kontinuierlichen lateralen Rotation (KLRT) individuell erwogen werden. Aktuelle Untersuchungen zufolge ist die Anwendung des Rotationsbetts im Vergleich zur konventionellen Therapie mit einer geringeren Inzidenz einer nosokomialen Pneumonie verbunden. Allerdings verlängern sich Beatmungs- und Intensivverweildauer, die Letalität bleibt unbeeinflusst [29,30].

Die Beteiligung des Herzens (i. S. einer Kontusion) sowie großer herznaher Ge-

fäße ist bei Thoraxverletzungen keine Seltenheit. In diesem Kontext hat sich die (transthorakale) Echokardiographie als nichtinvasives und bettseitig rasch durchführbares Verfahren etabliert. In 56 % der Fälle zeigten sich bei Patientinnen und Patienten mit Thoraxtrauma pathologische Befunde, EKG-Auffälligkeiten bestanden in 44 %. Kardiale Serummarker (z. B. CK-MB) waren häufiger erhöht in der Gruppe mit sonographisch detektierten Pathologien. Als vulnerable Strukturen wurden der rechte Ventrikel (32 %), der linke Ventrikel (15 %) sowie das Perikard (i. S. einer Tamponade, 12 %) beschrieben [31]. Aortenverletzungen, wie sie insbesondere bei Dezelerationstraumen (z. B. Sturz >10 m Höhe) oder nach direkter Thoraxkompression auftreten, finden sich zu >90 % im Bereich des Abganges der linken A. subclavia (seltener im Bereich der perikardialen Umschlagfalte) und können mittels transösophagealer Echokardiographie detektiert werden. Die Verifizierung erfolgt im Anschluss in der Regel mittels CT bzw. Angiographie. Bei (gedeckten) thorakalen Aortenrupturen wird die endovaskuläre Implantation einer Endostentprothese als therapeutischer Ansatz empfohlen. Hierdurch können gegenüber der offenen chirurgischen Vorgehensweise die Letalität und die Rate an postoperativer Paraplegie signifikant reduziert werden.

Insbesondere **Rippenserienfrakturen** (laterale Frakturen, Mehrfragmentbrüche sowie beidseitige Rippenfrakturen) führen zu einer nachhaltigen Instabilität des Thorax und zu einer Einschränkung der Atemmechanik, oftmals im Sinne einer **paradoxen Atmung**. Hierbei werden während der Inspiration die instabilen Rippenfragmente infolge des verstärkten pleuralen Unterdrucks nach intrathorakal gezogen. Bei hieraus resultierender respiratorischer Insuffizienz kann eine (nicht)invasive Beatmung erforderlich werden. Ein adäquates **schmerztherapeutisches Konzept** ist in solchen Situationen von zentraler Bedeutung, zumal es die Atemfunktion optimiert und eine zunehmende Mobilisierung des Patienten ermöglicht. Sowohl die thorakale Epiduralanalgesie (EDA) als auch Para-

vertebral- und spezielle Rumpfwandblocken (z. B. Serratus-anterior-Block) können eingesetzt werden. Fligel et al. [32] konnten eindrucksvoll für das Thoraxtrauma aufzeigen, dass

- die Anzahl an Rippenfrakturen mit steigender Zahl von Extremitäten- oder Schädel-Hirn-Trauma zunimmt,
- das Risiko für Pneumonie und ARDS mit zunehmender Anzahl an Rippenfrakturen ansteigt,
- die thorakale Epiduralanalgesie mit einer geringeren Pneumonierate einhergeht und
- letztlich die Überlebensrate durch eine EDA größer ist (Abb. 5).

In dieser Arbeit wurde eine deutliche Zunahme der Sterblichkeit bei ≥ 6 Rippenfrakturen beobachtet (42 % vs. <15 %). Auch wenn es sich hierbei um keine randomisierte Studie, sondern lediglich um eine retrospektive Analyse handelt, erscheinen diese Daten dennoch hilfreich für das klinische Management.

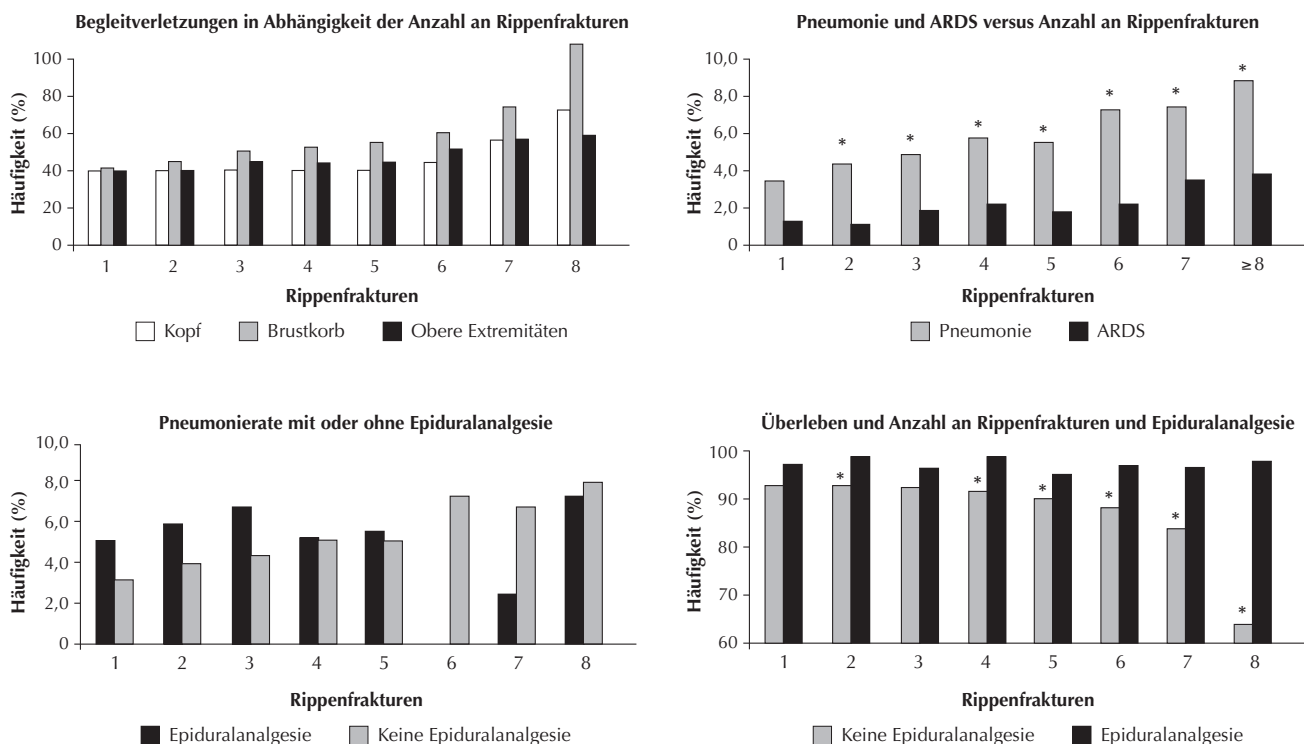
Abdominaltrauma

Ein Abdominaltrauma liegt bei etwa 20 % aller polytraumatisierten Patientinnen und Patienten vor; in 95 % der Fälle handelt es sich um stumpfe Verletzungen [33]. Am häufigsten sind parenchymatöse Organe betroffen, vorrangig die Milz und Leber. Verletzungen der Hohlorgane oder des Pankreas hingegen kommen seltener vor. Da Abdominalverletzungen mit einer hohen Morbidität und Letalität behaftet sind, kommt der zeitnahen Diagnostik und zielgerichteten Therapie der Organverletzungen eine entscheidende Bedeutung zu. Die Ursachen für die hohe Sterblichkeitsrate liegen zum einen in den fatalen Blutungskomplikationen, zum anderen in den postoperativ auftretenden septischen Komplikationen und gesteigerten Raten an Organversagen.

Die Behandlung des stumpfen Bauchtraumas erfordert in den meisten Fällen einen multidisziplinären Ansatz, um die

häufig komplexen Verletzungsmuster rasch zu erkennen und eine entsprechende zielgerichtete Diagnostik und Therapie sicherzustellen. In vielen Fällen können Patientinnen und Patienten mit stumpfem Bauchtrauma heutzutage mittels eines nichtoperativen Managements behandelt werden, wobei zunehmend interventionelle Verfahren zur Anwendung kommen [34]. Eine besondere Problematik beinhalten parenchymale Läsionen (z. B. Leber, Milz), die mit Sickerblutungen einhergehen und nur durch eine Tamponade (sog. „Packing“) gestoppt werden können. Bei massiven, unmittelbar lebensbedrohlichen Blutungen aus großen Gefäßen intra- oder retroperitoneal oder bei schweren begleitenden Beckenverletzungen ist eine **resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta** (REBOA) möglich [35]. Hierbei wird über eine Schleuse in der A. femoralis ein Ballonkatheter in die Aorta vorge-

Abbildung 5



Einfluss der Epiduralanalgesie zur Schmerztherapie bei Thoraxtrauma mit Rippenfrakturen auf verschiedene Outcomeparameter (modifiziert nach [32]).

schohen und dieser in Abhängigkeit der Lokalisation der Blutungsquelle in entsprechender Position geblockt. Dieses Verfahren eignet sich als passagere Maßnahme bei massiven Blutungen unterhalb des Zwerchfells.

Eine besondere Entität stellt in diesem Zusammenhang das **abdominelle Kompartmentsyndrom** dar. Der Gastrointestinaltrakt gilt als klassisches Schockorgan. Nicht ohne Grund wird er als Auslöser und Motor von Multiorganversagen und Sepsis benannt. Zur Limitierung des Mukosaschadens sind die Wiederherstellung und Aufrechterhaltung der Durchblutung durch Schockbehandlung, die Verbesserung der Splanchnikusperfusion sowie eine frühe enterale Ernährung wichtig. Darüber hinaus kann nach Trauma und Schock infolge eines kapillären Lecks und Reperfusionsschadens ein abdominelles Kompartmentsyndrom entstehen. Der erhöhte intraabdominelle Druck führt fortgeleitet zu einem Anstieg des intrathorakalen Drucks und damit zu einer Beeinträchtigung der respiratorischen Funktion. Durch Druck auf die V. cava inferior und Abnahme des venösen Rückstroms zum Herzen kann es zu hämodynamischer Instabilität und Nierenfunktionsstörungen kommen sowie – durch Verminderung des venösen Abstroms aus dem Gehirn – zu Hirnödemen und ICP-Anstieg. Somit kann ein abdominelles Kompartmentsyndrom zu relevanten Organfunktionsstörungen, mitunter sogar zu einem sog. Polykompartmentsyndrom führen. Bei im Verlauf neu auftretenden Organfunktionsstörungen ist daher stets eine intraabdominelle Hypertension bzw. ein abdominelles Kompartmentsyndrom auszuschließen. Über einen Blasenkatheter lässt sich der intraabdominelle Druck messen, wobei Werte ab 20 mmHg kritisch sind und therapiert werden sollten. Heutzutage sind Systeme verfügbar, bei denen eine Druckmessung im Harnblasenkathetersystem integriert ist. Bezüglich der Details zum abdominellen Kompartmentsyndrom wird auf spezifische Literatur und Empfehlungen verwiesen [36,37].

Literatur

1. TraumaRegister DGU – Jahresbericht 2023. URL: https://www.traumaregister-dgu.de/fileadmin/user_upload/TR-DGU-Jahresbericht_2023.pdf (Zugriffsdatum: 11.12.2024)
2. Böhmer AB, Poels M, Kleinbrahm K, Lefering R, Paffrath T, Bouillon B, et al: Change of initial and ICU treatment over time in trauma patients. An analysis from the TraumaRegister DGU®. *Langenbecks Arch Surg* 2016;401:531–540
3. Lefering R, Huber-Wagner S, Nienaber U, Maegele M, Bouillon B: Update of the trauma risk adjustment model of the TraumaRegister DGU: the Revised Injury Severity Classification, version II. *Crit Care* 2014;18:476
4. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e. V.: S3-Leitlinie Polytrauma/Schwer-verletzten-Behandlung. AWMF Registernummer 187-023, Version 4.0 (31.12.2022). URL: https://register.awmf.org/assets/guidelines/187-023_S3_Polytrauma-Schwererletzten-Behandlung_2023-06.pdf (Zugriffsdatum: 11.12.2024)
5. Kleber C, Giesecke MT, Tsokos M, Haas NP, Buschmann CT: Trauma-related preventable deaths in Berlin 2010: Need to change prehospital management strategies and trauma management education. *World J Surg* 2013;37:1154–1161
6. American College of Surgeons: ATLS Manual, 10. Auflage. Chicago: American College of Surgeons, 2018
7. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie: Weißbuch Schwerverletztenversorgung, 3. Aufl., 2019. URL: https://www.auc-online.de/fileadmin/AUC/Dokumente/Zertifizierung/TraumaNetzwerk_DGU/dgu-weissbuch_schwererletztenversorgung_2020_3._Auflage.pdf (Zugriffsdatum: 11.12.2024)
8. Bouillon B, Rixen D, Maegele M, Steinhäuser E, Tjardes T, Paffrath T: Damage Control Orthopedics – was ist der aktuelle Stand? *Unfallchirurg* 2009;112:860–869
9. Chakraverty S, Zealley I, Kessel D: Damage control radiology in the severely injured patient: what the anaesthetist needs to know. *Br J Anaesth* 2014;113:250–257
10. Lamb CM, MacGoey P, Navarro AP, Brooks AJ: Damage control surgery in the era of damage control resuscitation. *Br J Anaesth* 2014;113:242–249
11. Lier H, Bernhard M, Knapp J, Buschmann C, Bretschneider I, Hossfeld B: Ansätze zur prähospitalen Gerinnungstherapie. Aktuelle Übersicht für die zivile Notfallmedizin. *Anaesthesist* 2017;66:867–878
12. Maegele M, Paffrath T, Bouillon B: Acute traumatic coagulopathy in severe injury-incidence, risk stratification, and treatment options. *Dtsch Arztebl Int* 2011;108:827–835
13. Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e. V.: S3-Leitlinie Intensivmedizin nach Polytrauma. AWMF-Registernummer 040-014, Version 1.0 (24.07.2024). URL: https://register.awmf.org/assets/guidelines/040-014_S3_Intensivmedizin_nach_Polytrauma_2024-08.pdf (Zugriffsdatum: 11.12.2024)
14. Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e. V.: S3-Leitlinie Lagerungstherapie und Mobilisation von kritisch Erkrankten auf Intensivstationen. AWMF-Registernummer 001/015, Version 3.1 (25.07.2023). URL: https://register.awmf.org/assets/guidelines/001-015_S3_Lagerungstherapie-Mobilisation-von-kritisch-Erkrankten-auf-Intensivstationen_2024-09.pdf (Zugriffsdatum: 11.12.2024)
15. Wray JP, Bridwell RE, Schauer SG, Shackelford SA, Bebbarta VS, Wright FL, et al: The diamond of death: Hypocalcemia in trauma and resuscitation. *Am J Emerg Med* 2021;41:104–109
16. Roissant R, Afshari A, Bouillon B, Cerny V, Cimpoeu D, Curry N, et al: The European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: sixth edition. *Crit Care* 2023;27:80
17. Wang H, Umejiego J, Robinson RD, Schrader CD, Leuck J, Barra M, et al: A derivation and validation study of an early blood transfusion needs score for severe trauma patients. *J Clin Med Res* 2016;8:591–597
18. Shakur H, Roberts I, Bautista R, Caballero J, Coats T, Dewan Y, et al: 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* 2010;376:23–32
19. Koscielny J, Birschmann I, Bauersachs R, Trenk D, Langer F, Möhnle P, et al: Grundlagen zur Anwendung von Andexanet. *Hamostaseologie* 2023;43:398–409
20. Karcutskie CA, Meizoso JP, Ray JJ, Horkan D, Ruiz XD, Schulman CI, et al: Association of mechanism of injury with risk for venous thromboembolism after trauma. *JAMA Surg* 2017;152:35–40

21. Schieren M, Wappler F, Wafaisade A, Lefering R, Sakka SG, Kaufmann J, et al: Impact of blunt chest trauma on outcome after traumatic brain injury – a matched-pair analysis of the Trauma-Register DGU®. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2020;28:21
22. Schizodimos T, Soulountsi V, Iasonidou C, Kapravelos N: An overview of management of intracranial hypertension in the intensive care unit. *J Anesth* 2020;34:741–757
23. Lee EJ, Hung YC, Wang LC, Chung KC, Chen HH: Factors influencing the functional outcome of patients with acute epidural hematomas: analysis of 200 patients undergoing surgery. *J Trauma* 1998;45:946–952
24. Robba C, Santori G, Czosnyka M, Corradi F, Bragazzi N, Padayachy L, et al: Optic nerve sheath diameter measured sonographically as non-invasive estimator of intracranial pressure: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med* 2018;44:1284–129417
25. Kotani J, Nakao H, Yamada I, Miyawaki A, Mambo N, Ono Y: A novel method for measuring the pupil diameter and pupillary light reflex of healthy volunteers and patients with intracranial lesions using a newly developed pupilometer. *Front Med (Lausanne)* 2021;8:598791
26. Robba C, Poole D, McNett M, Asehnoune K, Bösel J, Bruder N, et al: Mechanical ventilation in patients with acute brain injury: recommendations of the European Society of Intensive Care Medicine consensus. *Intensive Care Med* 2020;46:2397–2410
27. Deutsche Gesellschaft für Neurologie e. V.: S1-Leitlinie Intrakranieller Druck. AWMF-Registernummer 030/105, Version 1.1 (14.02.2023). URL: https://register.awmf.org/assets/guidelines/030-105_S1_Intrakranieller-Druck-ICP_2023-07.pdf (Zugriffsdatum: 11.12.2024)
28. Chrysou K, Halat G, Hokschi B, Schmid RA, Kocher GJ: Lessons from a large trauma center: impact of blunt chest trauma in polytrauma patients – still a relevant problem? *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2017;25:42
29. Defosse J, Grensemann J, Gerbershagen MU, Paffrath T, Böhmer A, Joppich R, et al: TraumaRegister DGU®. Continuous lateral rotational bed therapy in patients with traumatic lung injury: an analysis from the TraumaRegister DGU®. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 2020;115:222–227
30. Schieren M, Piekarski F, Dusse F, Marcus H, Poels M, Wappler F, et al: Continuous lateral rotational therapy in trauma – a systematic review and meta-analysis. *J Trauma Acute Care Surg* 2017;83:926–933
31. Levitov A, Frankel HL, Blaivas M, Kirkpatrick AW, Su E, Evans D, et al: Guidelines for the appropriate use of bedside general and cardiac ultrasonography in the evaluation of critically ill patients- Part II: Cardiac ultrasonography. *Crit Care Med* 2016;44:1206–1227
32. Fligel BT, Luchette FA, Reed RL, Esposito TJ, Davis KA, Santaniello JM, et al: Half-a-dozen ribs: the breakpoint for mortality. *Surgery* 2005;138:717–723
33. Hildebrand P, Hindel C, Roblick UJ, Bruch HP: Abdominaltrauma - Therapie von Verletzungen parenchymatöser Organe. *Trauma Berufskrankh* 2007;9 [Suppl 2]:S127–S131
34. Thomas MN, Bruns CJ: Stumpfes Bauchtrauma. *Chirurgie* 2023;94:667–668
35. Schneider N, Küßner T, Weilbacher F, Göring M, Mohr S, Rudolph M et al: Invasive Notfalltechniken – INTECH Advanced: REBOA, Perikardiozentese und Clamshell-Thorakotomie. *Notfall Rettungsmed* 2019;22:87–99
36. Sakka SG: Der Patient mit abdominellem Hypertonus. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzth* 2016;51:8–16
37. Kirkpatrick AW, Roberts DJ, De Waele J, Jaeschke R, Malbrain ML, De Keulenaer B, et al: Pediatric Guidelines Sub-Committee for the World Society of the Abdominal Compartment Syndrome. Intra-abdominal hypertension and the abdominal compartment syndrome: updated consensus definitions and clinical practice guidelines from the World Society of the Abdominal Compartment Syndrome. *Intensive Care Med* 2013;39:1190–1206.

Korrespondenz- adresse

**Prof. Dr. med.
Samir G. Sakka,
DEAA, EDIC**



Klinik für Intensivmedizin
Gemeinschaftsklinikum Mittelrhein
gGmbH
Akademisches Lehrkrankenhaus
der Johannes Gutenberg-Universität
Mainz
Koblenzer Straße 115–155
56073 Koblenz, Deutschland
Tel.: 0261 499-2202 oder
0261 137-7211
Fax: 0261 499-2200
E-Mail: samir.sakka@gk.de
ORCID-ID: 0000-0002-7739-025X