



Präklinisches Management von Wirbelsäulenverletzungen

Prehospital Management of Spine Injury

Autor Riepl C.¹, Röhrer S.², Muth C.M.³, Gebhard F.⁴, Schicho A.⁴

Institute ¹ Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Rems-Murr-Kliniken Winnenden, Am Jakobsweg 1, 71364 Winnenden

² Klinik für Neurochirurgie, Universitätsklinikum Ulm, Albert-Einstein-Allee 23, 89081 Ulm

³ Sektion Notfallmedizin, Klinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Ulm, Albert-Einstein-Allee 23, 89081 Ulm

⁴ Klinik für Unfallchirurgie, Hand-, Plastische und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Ulm, Albert-Einstein-Allee 23, 89081 Ulm

Schlüsselwörter

- ▶ Wirbelsäulenverletzung
- ▶ Polytrauma
- ▶ Hochrasanztrauma
- ▶ Rückenmarkverletzung

Keywords

- ▶ Spine Injury
- ▶ Polytrauma
- ▶ High Energy Trauma
- ▶ Spinal Cord Injury

Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0042-112255>
 Notarzt 2016; 32: 190–198
 © Georg Thieme Verlag KG
 Stuttgart · New York
 ISSN 0177–2309

Korrespondenzadresse

Dr.med. Christoph Riepl
 Rems-Murr-Klinikum
 Winnenden
 Orthopädie und Unfallchirurgie
 Am Jakobsweg 1
 71364 Winnenden
 E-Mail: christoph.rieppl@rems-murr-kliniken.de

Zusammenfassung

Wirbelsäulenverletzungen sind in der Regel die Folge von Hochrasanztraumen. Die Wirbelsäule hat krafttragende Funktion und schützt das innenliegende Rückenmark, weswegen Verletzungen der Wirbelsäule für den Patienten schwerwiegende Konsequenzen wie z.B. Lähmungen haben können. Entscheidend ist, die Gefahr einer Wirbelsäulenverletzung am Unfallort zu erkennen und sekundäre Schäden durch fachgerechte Lagerung, Stabilisierung und Transport zu vermeiden. Verletzungen der Wirbelsäule oder des Rückenmarkes müssen

weder eindeutig noch unmittelbar nach dem Unfall erkennbar sein; mit Komplikationen durch verzögert auftretende Symptomatik, hervorgerufen z.B. durch eine Myelonkompression durch Einblutung, müssen rechtzeitig erkannt werden. Die kausale Therapie ist außerhalb der Klinik nicht suffizient möglich, weswegen sich die Maßnahmen auf die Sicherung der Vitalfunktionen konzentrieren. Bei Verdacht auf Verletzung von Wirbelsäule oder Rückenmark muss der Transport in ein Traumazentrum mit den Fachkompetenzen Wirbelsäulenchirurgie und Neurochirurgie gewährleistet werden.

Lernziele

Dieser Artikel soll Ihnen helfen,

- ▶ den Wirbelsäulenverletzten Patienten zu identifizieren
- ▶ die Rettungsmittel und -techniken zu überblicken
- ▶ die Therapieoptionen am Unfallort einzuschätzen
- ▶ Komplikationen durch Myelonverletzungen zu erkennen und zu behandeln
- ▶ die weitere Versorgung des Patienten adäquat sicherzustellen

Einleitung

Verletzungen im Bereich der Wirbelsäule können für die Betroffenen dramatische Folgen haben, wobei es durch die notwendigen Rettungsmaßnahmen bei nicht korrekter Ausführung zu einer deutlichen Verschlechterung der Situation kommen kann. Fundierte Kenntnisse tragen daher maßgeblich zu einer adäquaten Versorgung beim Verdacht auf eine vorliegende Wirbelsäulenverletzung bei.

Aufrechter Gang und knöcherner Schutz Die Wirbelsäule stellt die krafttragende Verbindung zwischen oberer und unterer Körperhälfte dar. Sie ermöglicht

den aufrechten Gang und bildet zudem den knöchernen Schutz des Rückenmarks, ist aber aufgrund ihres segmentalen Aufbaus und ihrer hohen Beweglichkeit auch vergleichsweise empfindlich für Verletzungen. Ein Trauma der Wirbelsäule bedeutet die Gefährdung einer oder beider Funktionen und kann zu schweren bleibenden Schäden bis hin zum Tod führen. Verletzungen des Achsskeletts sind häufig nicht offensichtlich und bergen teils vital bedrohliche Begleiterscheinungen. Die Therapie stellt in der gesamten Rettungskette eine Herausforderung an das behandelnde Team dar, adäquate therapeutische Maßnahmen zu ergreifen und sekundäre Schäden zu vermeiden [1].

.....
Wirbelsäulenverletzungen sind häufig Teil einer Mehrfachverletzung und äußerlich nicht zu erkennen!

Anatomie

Die Wirbelsäule besteht aus 33 Wirbelkörpern. Die 5 Sakralwirbel und die 4 Coccygealwirbel verschmelzen zwischen dem 20.–25. Lebensjahr zum Os sacrum sowie

zum Os coccygis. Die 24 Wirbelkörper der Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule sorgen für die Beweglichkeit des Rumpfes. Neben den Wirbelkörpern wird die Wirbelsäule von Bändern und Bandscheiben gebildet. Zu den längs verlaufenden (Lig. longitudinale anterior und posterior, Lig. supraspinale) sorgen Bänder zwischen den Wirbelbögen und den Quer- und Dornfortsätzen für die Stabilisierung der Zwischenwirbelgelenke und der gesamten Achse [2]. Die Mechanik der Wirbelsäule basiert auf der Verteilung von dorsalen Zug- und ventralen Druckkräften [3, 4], worauf z.B. das 3-Säulen-Modell beruht (Abb. 1).

Halswirbelsäule (HWS)

Die HWS besteht aus 7 Wirbelkörpern. Sie verläuft lordotisch. Funktionell, klinisch und morphologisch wird die obere HWS (C0-C2) von der unteren HWS (C3-C7) unterschieden. Die Besonderheiten liegen sowohl in der Artikulation des Atlas mit dem Kopf als auch in dessen Artikulation zum Axis. Dieser wiederum ragt mit dem Dens in den Innenradius des Atlas hinein und liegt direkt vor der Medulla oblongata. Die Halswirbel führen in einem knöchernen Kanal die Aa. vertebrales nach cranial, die dann am Unterrand der Brücke zur A. basilaris konfluieren. Die Beweglichkeit der HWS ist gegenüber BWS und LWS in allen Qualitäten wesentlich höher. Zugunsten des großen Bewegungsumfangs der HWS ist die Stabilität jedoch reduziert [3, 5].

Brustwirbelsäule (BWS)

Die BWS hat 12 Wirbelkörper und ist kyphotisch gekrümmt. Sie ist lateral über die Costovertebralgelenke mit den Rippen verbunden. Die BWS ist durch die steile Stellung der Dornfortsätze und die Einbindung in den knöchernen Thorax insgesamt wenig mobil, jedoch in den unteren Segmenten hauptsächlich für die Rotation verantwortlich. Der Thorax stabilisiert hierbei durch die knöcherne, muskuläre und ligamentäre Verspannung die BWS [4].

Lendenwirbelsäule (LWS)

Die LWS ist im Normalfall 5-gliedrig und verläuft lordotisch. Sie erlaubt einen hohen Bewegungsumfang insbesondere in der sagittalen und der frontalen Ebene, ist jedoch in der Rotation eingeschränkt. Lendenwirbelkörper sind aufgrund des Wegfalls des knöchernen Thorax sowie des zugleich hohen Gewichtes des Oberkörpers häufig von Frakturen betroffen [6] (Abb. 2). Während Hyperextensionen durch die Bauchmuskulatur mit großem Hebelarm und die Verschränkung der Proc. spinosi kompensiert werden kann, ist die Hyperflexion durch die dorsalen Längsbänder vergleichsweise schwach abgesichert.

Rückenmark (RM)

Das Rückenmark läuft im Wirbelkanal bis zur Höhe des 1.-2. Lendenwirbels und verläuft dann als Cauda equina im Bereich der unteren Lendenwirbelsäule. Das Myelon ist wie das Gehirn von den Hirnhäuten umgeben. In seinen 31 Segmenten verlaufen die afferenten Bahnen über die hinteren Wurzeln und die efferenten, parasympathischen und sympathischen Bahnen über die vorderen

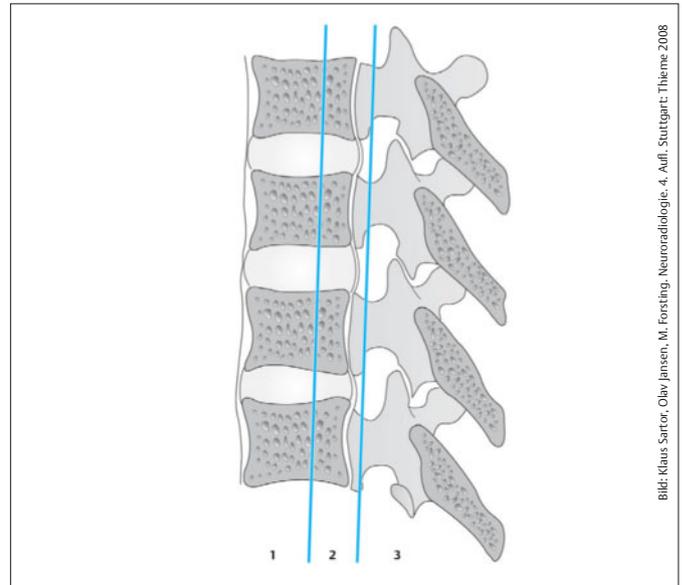


Abb. 1 Das 3-Säulen-Modell der Wirbelsäule. Die ventrale Säule (1) wird vorwiegend auf Druck belastet, kann durch das vordere Längsband aber auch Zugkräfte aufnehmen. Die zentrale Säule (2, „Hinterkante“) bildet die ventrale Begrenzung des Spinalkanals. Besonders auf Zugkräfte ausgelegt ist die dorsale Säule (3), welche durch kräftige Bänder charakterisiert ist. Druckkräfte kann sie hingegen kaum aufnehmen.

Wurzeln. Jedes Segment versorgt Areale, die sich diagnostisch über Dermatome (Abb. 3) und Kennmuskeln zuordnen lassen [7].

.....
Wirbelsäule und Myelon sind streng segmental aufgebaut. Die Mechanik beruht auf der Verteilung ventraler Druck- und dorsaler Zugkräfte.

Ätiologie

Gewalteinwirkung durch Hochrasanztraumata Wirbelsäulenverletzungen entstehen in der Regel durch hohe Gewalteinwirkung im Rahmen von Hochrasanztraumata. Im Vergleich zu anderen Verletzungen des Bewegungsapparates sind sie eher selten (0,5-1%) [8]. Betroffen sind am häufigsten Männer im erwerbstätigen Alter. Bei 48% der polytraumatisierten Patienten werden Wirbelsäulenverletzungen dokumentiert [9]. Eine traumatische Beteiligung des RM wird in Industrienationen mit 10-30 pro einer Mio Einwohner angegeben [10]. Verletzungen mit bleibender Schädigung des RM verursachen nachhaltige Behandlungskosten und senken sowohl die Lebensqualität als auch die Lebenserwartung der Betroffenen [11]. Verletzungen an der Wirbelsäule treten bei Kindern seltener auf als bei Erwachsenen [12, 13], sind dann jedoch mit einer 6-fach höheren Mortalität verbunden [14].

Geriatrische Patienten Im Rahmen des demografischen Wandels kommt es zu einer Zunahme von geriatrischen Patienten mit Wirbelsäulenverletzungen. Wie bei Kindern liegt eine altersspezifische Morphologie vor. Bestehen pathologische Veränderungen (z.B. Osteoporose, Malignom), so kann bereits ein Bagateltraumata zu Frakturen führen oder es können Spontanfrakturen auftreten [15].

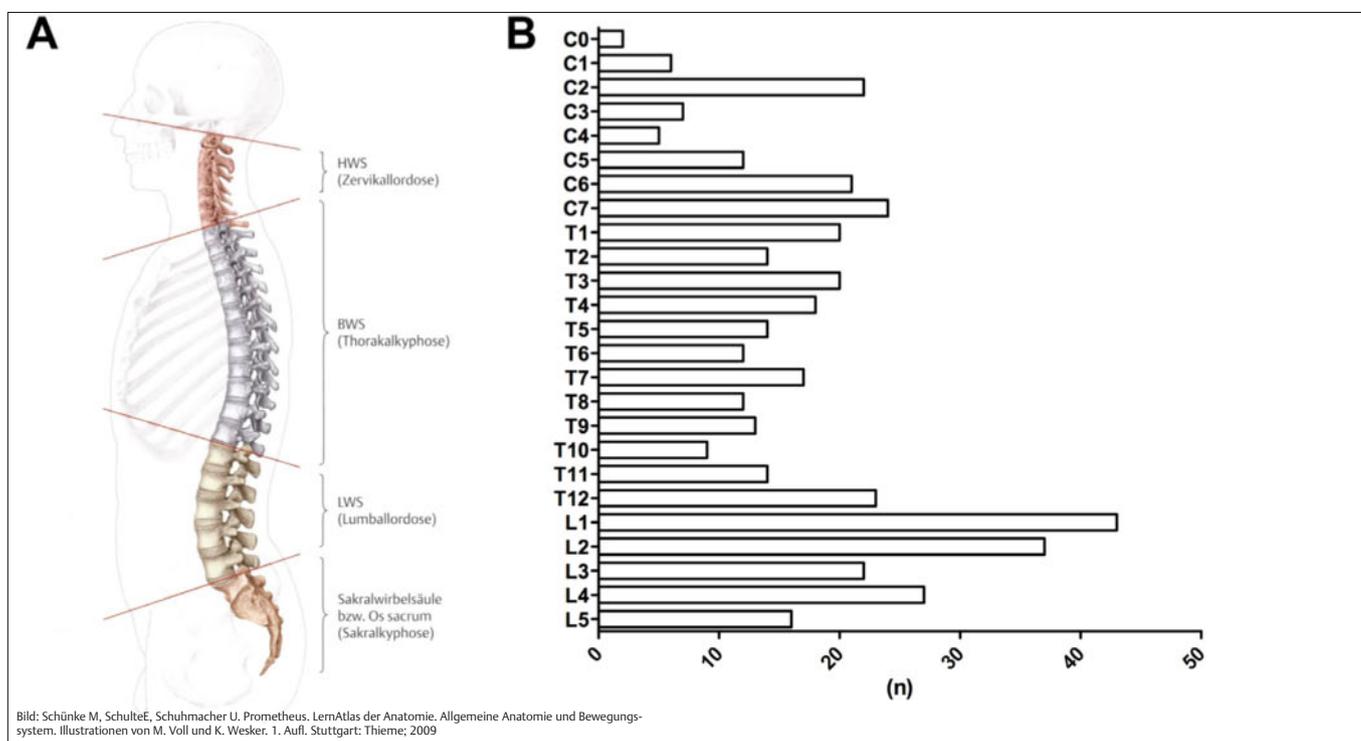


Abb. 2 Lordosen und Kyphosen der Wirbelsäule sowie typische Verletzungsverteilung A) Besonders die Übergänge von Lordose auf Kyphose sind aus biomechanischen Gründen anfällig für Verletzungen, welche zusätzlich durch das Hinzukommen (Zerviko-thorakaler Übergang) bzw. den Wegfall (thorako-lumbaler Übergang) des knöchernen Thorax durch die veränderte Steifigkeit begünstigt werden. B) Zusätzlich zu den Übergängen findet sich eine Häufung mit Verletzungen des Dens axis (C2), bedingt durch seine Form und Funktion.

Unfallmechanismus

Mechanisch führen Kompression, Distraction, Flexion, Extension, Rotation oder eine Kombination der einzelnen Kraftvektoren zu entsprechenden Verletzungen. In über 50% der Fälle sind die Übergangsregionen der Wirbelsäulenabschnitte, insbesondere der thorako-lumbale Übergang betroffen [16]. Auch der Dens axis ist durch seine besondere Form und Größe, über 2 Höhensegmente reichend, gehäuft betroffen (Abb. 2B).

Im Rahmen von Mehrfachverletzungen Verkehrsunfälle und Sturzereignisse sind die häufigsten Ursachen, aber auch Freizeitunfälle (z.B. Reiten, Skifahren) stellen eine relevante Verletzungsursache dar [6]. Wirbelsäulentraumata kommen nicht nur isoliert, sondern regelmäßig im Rahmen von Mehrfachverletzungen vor [17]. Im deutschsprachigen Raum liegen überwiegend stumpfe Verletzungsmechanismen vor. Seltener kommt es zu penetrierenden Verletzungen, wobei eine Schussverletzung die zweithäufigste Ursache darstellt [18].

.....
Die Wirbelsäulenverletzung ist häufig bei Hochrasanztraumata und selten isoliert zu finden. Besonders die biomechanischen Übergänge (cranio-cervical, cervico-thorakal, thorako-lumbal) sind verletzungsgefährdet!

Verletzungsmuster

Verletzungen der Wirbelsäule können wie folgt differenziert werden:

► Atlanto-okzipitale Luxation

Die Atlantookzipitale Dislokation ist eine ligamentäre Verletzung, die mit der Luxation des Kopfes einhergeht. Sie verläuft sehr häufig letal durch Verletzung lebenswichtiger zentralnervöser Strukturen im Bereich des Hirnstamms [19, 20].

► Verletzungen von C1 [21]

► Verletzungen von C2

Frakturen des Dens axis (C2) werden nach Anderson und D'Alonzo eingeteilt [22]. Dies sind Brüche der Densspitze (Typ I), Brüche im Bereich der Densbasis (Typ II) und Frakturen durch den Wirbelkörper oder das Facettengelenk (Typ III). Bei Kindern existiert aufgrund der offenen Synchondrose eine separate Einteilung nach Hosalkar [23]. Die Frakturen der Bogenwurzel C2 werden abhängig vom Dislokationsgrad nach Effendi eingeteilt [24].

► Klassifikation der BWS- und LWS-Verletzungen

Es existieren mehrere Klassifikationen für die Frakturteilung im Bereich der Wirbelsäule. Durchgesetzt hat sich die Klassifikation nach Magerl [16]. Hierbei werden Kompressionsfrakturen (Typ A), Distaktionsverletzungen (Typ B) und Rotationsverletzungen (Typ C) unterschieden. Modifiziert wurde die Klassifikation nach Magerl durch die AO-Klassifikation. Sie berücksichtigt neben der Frakturmorphologie auch neurologische Ausfälle und klinische Besonderheiten. Sie ba-

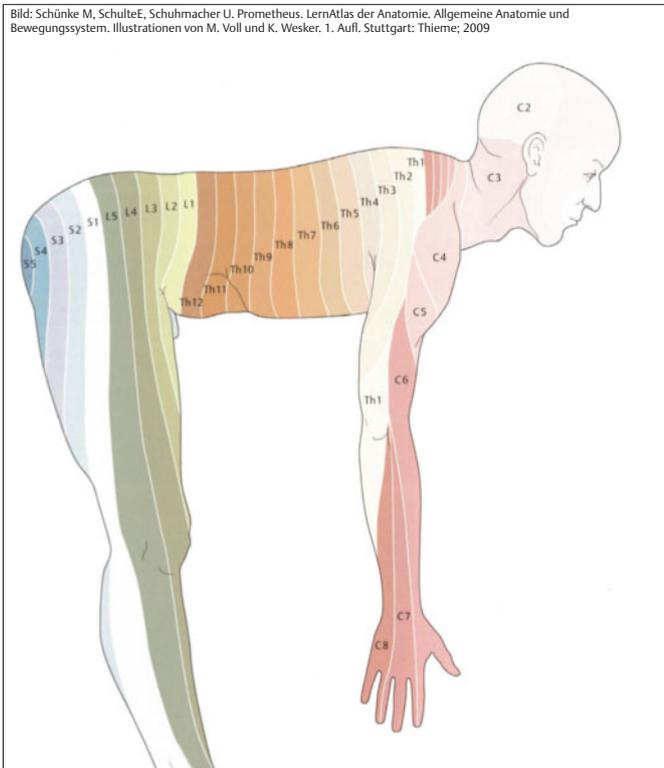


Abb. 3 Merkhilfe für Dermatome Im Vierfüßerstand ist die segmentale Dermatomordnung am besten nachzuvollziehen. Wichtige Landmarken sind der Daumen (C6), die Brustwarzen (T4), der Bauchnabel (T10), die Leiste (L1), die Großzehe (L5) und das Perineum (S5).

siert letztendlich auf dem bildgebenden Befund, berücksichtigt jedoch dabei den charakteristischen Verletzungsmechanismus wodurch präklinisch bereits Hinweise auf die Schwere der Verletzung vorhanden sind [25].

► Komplexe Wirbelsäulenverletzung

Komplexe Wirbelsäulenverletzungen beschreiben besonders schwere oder auch kombinierte Verletzungsmuster. Von Blauth et al. wurden 3 Typen definiert:

Typ I: Langstreckige oder mehretagige instabile Wirbelsäulenverletzungen

Typ II: Wirbelsäulenverletzungen mit gleichzeitigen intrathorakalen oder -abdominellen Läsionen.

Typ III: Kombination aus einer Wirbelsäulenverletzung und einem Polytrauma.

Überlagerungen zwischen den verschiedenen Typen kommen vor [26].

► Verletzungen mit Beteiligung des Rückenmarks

Verletzungen des RM können reversibel (Commotio spinalis, Contusio spinalis) oder irreversibel (z.B. Kompression, Distraction, Kontinuitätsunterbrechung) durch direkte oder indirekte Schädigungen (z.B. Hypoxie, Minderperfusion, Zweittrauma) auftreten und können sich klinisch auch deutlich zeitverzögert, z.B. durch die Bildung eines Hämatoms, manifestieren.

► Querschnittverletzung

Sämtliche Verletzungsmechanismen können zu einer kompletten oder einer inkompletten Symptomatik führen. Bei einer komplet-

ten Querschnittlähmung kommt es zu einer vollständigen Unterbrechung der Reizleitungsfähigkeit des RM.

► Spinaler Schock

Der spinale Schock kann sowohl bei kompletter als auch bei inkompletter Querschnittsymptomatik auftreten. Im akuten Stadium kommt es hierbei zu einem kompletten Ausfall aller sensiblen Qualitäten, aller willkürlichen Muskelbewegungen, dem Verlust von Fremd- und Eigenreflexen, sowie dem Verlust der Blasen-Mastdarmkontrolle. Die Dauer des spinalen Schocks beträgt etwa 4–6 Wochen. Nach Abklingen des spinalen Schocks folgt diesem die spinale Spastik [27].

► Neurogener Schock

Verletzungen ab Höhe Th 6 oder höher können zum Ausfall der sympathischen und vagalen Reizleitung führen. Es kann konsekutiv zum Abfall von Herzfrequenz und Blutdruck bei peripherer Vasodilatation kommen [28].

► Anterior Cord Syndrome

Verletzung oder Kompression der Arteria anterior spinalis führen zum kompletten motorischen Defizit unterhalb der betroffenen Region. Die Sensibilität ist meist für Schmerz und Temperatur verloren, wogegen Propriozeption und Sensibilität erhalten bleiben [29, 30].

► Central Cord Syndrome

Es kommt zum unterschiedlich ausgeprägten Verlust der Motorik der Extremitäten. Die Arme sind dabei stärker betroffen als die Beine. Typischerweise tritt es nach Hyperextensionstrauma der HWS auf [31, 32].

► Brown-Séquard-Syndrom

Das Brown-Séquard-Syndrom resultiert aus einer einseitigen Schädigung oder Kompression des Rückenmarks. Hierbei entsteht der für das Syndrom charakteristische Symptomkomplex aus spinaler Halbseitenlähmung mit ipsilateraler spastischer Parese und Hyperreflexie unterhalb der Rückenmarkläsion. Kontralateral zeigt sich ein Ausfall der protopathischen Sensibilität (Schmerzaufhebung, gestörte Temperaturempfindung und Verlust der Berührungsempfindung) [33].

► Syndrom der Hinterstrangschädigung

Liegt eine isolierte Schädigung der Hinterstränge vor, führt dies zu einer Störung der Berührungsempfindung unterhalb der Läsion. Zweipunktgediskrimination, Vibrations- und Lageempfinden sind beeinträchtigt und führen zu einer sensiblen Ataxie beim Gehen sowie beim Durchführen von Zielbewegungen [34].

► SCIWORA

Das SCIWORA-Syndrom (Spinal Cord Injury Without Radiological Abnormality) wird durch ein posttraumatisches, neurologisches Defizit bis hin zur kompletten sensomotorischen Querschnittlähmung ohne Korrelat in der Bilddiagnostik charakterisiert [35]. Dieses Syndrom betrifft zumeist Kinder und Jugendliche bis 16 Jahre und tritt beim Erwachsenen äußerst selten auf [36]. Betroffen ist hierbei zumeist die HWS, gefolgt von der BWS, wobei die Häufigkeitsangaben des Auftretens des SCIWORA-Syndroms mit 12% bis 66% in der Literatur sehr unterschiedlich beschrieben werden [12, 13, 37].

.....
Wirbelsäulen- und Myelonverletzungen können sich klinisch mannigfaltig präsentieren, ohne dass aus dem Untersuchungsbefund sicher auf das Verletzungsmuster geschlossen werden kann.

Diagnostik und Therapie

Anamnese

Richtiger Anfangsverdacht ist wichtig! Die Anamnese des Unfallherganges sowie die Einschätzung der Situation, in der der Patient am Unfallort aufgefunden wird, gibt den ersten und entscheidenden Hinweis auf das Vorliegen von Verletzungen. Der Notarzt muss für das Erkennen einer Wirbelsäulenverletzung vor allem den richtigen Anfangsverdacht haben! Frakturen der Wirbelsäule verursachen in der Regel Schmerzen, die der wache und orientierte Patient ebenso wie neurologische Defizite benennen kann. Bei bewusstlosen Traumatopatienten muss von einer Wirbelsäulenverletzung insbesondere nach hochenergetischem Unfallhergang, wie z.B. Verkehrsunfälle oder Stürze aus großen Höhen ausgegangen werden [38]. Insgesamt wird das Vorhandensein von Wirbelsäulenverletzungen jedoch unter präklinischen Bedingungen unterschätzt.

.....
Die Vermutung einer möglichen Wirbelsäulenverletzung ist der entscheidende Schritt, denn die Häufigkeit wird unterschätzt! Unfallhergang, Auffindsituation sowie Klinik geben wichtige Hinweise.

Erstmaßnahmen

Ruhigstellung Bereits während der ersten Patientensichtung (Primary Survey [39]) soll die HWS, um Folgeschäden zu vermeiden, manuell so lange inline stabilisiert werden, bis eine orthetische Sicherung erfolgt ist. Dies gilt insbesondere für Situationen, in denen eine technische Rettung und/oder eine Intubation erforderlich sind. Die Maßgabe der Ruhigstellung gilt ebenso für die kaudalere Bereiche des Achsskeletts, bevor eine eingehende Untersuchung durchgeführt wird. Davon soll nur abgewichen werden, sofern eine „Schnelle Rettung“ bei A-, B- oder C-Problemen oder eine „Sofortrettung“ unter der Gefahr durch Feuer, Explosion, schnell eindringendes Wasser, Halteverlust oder toxische Substanzen erforderlich ist [40]. Das Vorgehen unterscheidet sich somit nicht vom Standardprozedere zur Versorgung traumatologischer Patienten. Die Zuständigkeiten und Positionen zum Patienten müssen vor Beginn der Maßnahmen verbindlich geklärt sein und eingehalten werden. So gehen bei V.a. Wirbelsäulenverletzungen mitunter Diagnostik und Therapie ineinander über.

Körperliche Untersuchung

ABCDE-Regel Die eingehende körperliche Inspektion erfolgt nach Richtlinien etablierter präklinischer Standards (z.B. ITLS, PHTLS), nachdem die temporäre Stabilisierung von HWS und Achsskelett sichergestellt ist. Prioritätsorientiert wird der Patient nach der ABCDE-Regel untersucht und erstversorgt:

- ▶ A: Airway maintenance with cervical spine protection
- ▶ B: Breathing and ventilation
- ▶ C: Circulation with hemorrhage control
- ▶ D: Disability: Neurologic status
- ▶ E: Exposure/Environmental control: Completely undress the patient but prevent hypothermia

Drehung des Patienten Nach Sicherung bzw. Ausschluss unmittelbar vital bedrohlicher Zustände (A, B, C) erfolgt die Erhebung des neurologischen Status (D) nach u.g. Maßgabe. Patienten mit Wirbelsäulenverletzung sollen flach gelagert werden. Gegenläufige Torsionen des Rumpfes durch den Patienten selbst oder das Rettungspersonal sind unbedingt zu vermeiden, da diese zu sekundären Schäden neurogener Strukturen führen können. Dies gilt vor allem für die Drehung des Patienten zur Inspektion des Dorsums (E). Das Drehmanöver soll nur einmalig en bloc erfolgen, wobei nach der Inspektion das Unterschieben des Rettungsmittels mit anschließender Lagerung und Fixierung des Patienten durchgeführt werden soll. Dabei ist auf Schmerzen, offensichtliche Fehlstellungen, Stufen, Lücken zwischen den Proc. spinosi sowie Hämatome zu achten und bei offensichtlichen Fehlstellungen von Repositionsmanövern abzusehen. Offene Wunden werden steril verbunden.

Lift-and-slide-Technik Kritiker des beschriebenen Vorgehens sehen gerade in der Drehung zusätzliches Verletzungspotential und bevorzugen die Lift-and-slide-Technik, bei der der Patient von mehreren Rettern angehoben wird, um das Rettungsmittel unterzuschieben [41, 42]. Insbesondere der bewusstlose Patient gibt keinerlei Feedback über Schmerzen oder Lähmungen, sodass mögliche Warnhinweise fehlen. Beim wachen Patienten geben bestehende Druck- oder/und Klopfschmerzen Hinweise auf eine vorliegende Verletzung. Bereits kurz nach dem Unfall kann paravertebral muskulärer Hartspann als körpereigene Traumareaktion bestehen, dieser entwickelt sich häufig jedoch erst im kurzfristigen Verlauf. Ein unauffälliger Befund hingegen lässt keinen sicheren Ausschluss einer knöchernen oder ligamentären Wirbelsäulenverletzung zu.

Neurologischer Status

ASIA Impairment Skala Entsprechend der ASIA Impairment Skala [43] werden zunächst die sensiblen Qualitäten überprüft. Eine grobe Einschätzung der warm/kalt- und spitz/stumpf-Diskrimination ist empfehlenswert, kann im Setting am Unfallort jedoch nicht durchführbar oder nicht verwertbar sein. Im zweiten Schritt sind anhand der Kennmuskeln die motorischen, efferenten Bahnen von kranial nach kaudal zu kontrollieren. Die Befunde sind unmittelbar mit Uhrzeit schriftlich zu dokumentieren, da sich Änderungen im Verlauf ergeben können, oder aber eine Kontrolle nach Intubation nicht mehr möglich ist. Ein initial unauffälliger Befund lässt auch hier keinen Ausschluss einer spinalen Verletzung zu [33, 44, 45]. Beim bewusstlosen Traumatopatienten wird aufgrund der mangelnden Aussagekraft kein neurologischer Befund erhoben, jedoch ist bis zu deren Ausschluss von einer Verletzung der Wirbelsäule auszugehen.

Stabilisierende Maßnahmen und Lagerung

Weder für noch wider der generellen Immobilisierung von Traumatopatienten gibt es ausreichende Literatur oder Evidenz, sodass keine unreflektierte, „standardmäßige“ Immobilisierung erfolgen sollte. Es gibt jedoch Empfehlungen, welche die Entscheidung am Unfallort erleichtern sollen. Die Immobilisierung sollte erfolgen bei

- ▶ Unfällen hoher kinetischer Energie
- ▶ Neurologischer Symptomatik
- ▶ Schmerzen/Auffälligkeiten im Bereich der Wirbelsäule
- ▶ Vigilanzgeminderten Patienten

Immobilisierung Für die differenzierte Indikationsstellung der HWS-Immobilisierung gibt es Entscheidungshilfen (Canadian C-Spine Rule [46], NEXUS-Kriterien [47]), welche jedoch gerade am Unfallort oder bei Mehrfachverletzten nicht immer zuverlässig angewendet werden können. Von der isolierten Immobilisierung der HWS muss aus aktueller Studienlage jedoch abgeraten werden [48]; wenn die Indikation zur Wirbelsäulenimmobilisierung gestellt wird, dann sollte eine vollständige Ruhigstellung z.B. in der Vakuummatratze erfolgen.

Risiken und Einschränkungen Bei jeder Art der Immobilisierung muss der Notarzt sich über die möglichen, begleitenden Risiken und Einschränkungen im Klaren sein. Einige hiervon sind: erschwertes Atemwegsmanagement [49], Anstieg des intrakraniellen Drucks [50], Verschlechterung der neurologischen Symptomatik (besonders bei deformierenden Vorerkrankungen wie M. Bechterew oder Skoliose) [51], restriktive Lungenventilationsstörung [52], Druckstellen.

.....
Keine „standardmäßige“, unreflektierte Immobilisierung des Traumatopatienten. Bei Indikation zur Immobilisierung der Wirbelsäule den gesamten Patienten immobilisieren, nicht nur die HWS!

Inline-Stabilisierung

Vor der Rettung oder einer eingehenden Untersuchung des Patienten wird die HWS bis zur Anlage einer Zervikalstütze manuell stabilisiert. Es soll hierbei keine Traktion ausgeübt werden. Vielmehr soll das Gewicht des Kopfes lediglich neutralisiert werden.

Zervikalstütze

Zervikalstützen bestehen aus 2 gepolsterten verbundenen Kunststoffschalen, deren unterschiedliche Größen in Höhe und Weite einstellbar sind. Sie wird während der Inline-Stabilisierung über den Schulter-Kinn-Abstand angepasst und unter deren Erhalt angelegt. Sie stabilisiert den Kopf zur Halswirbelsäule in Neutralposition und immobilisiert die Beweglichkeit der HWS. Es ist darauf zu achten, dass eine stabile Fixierung der HWS für alle Bewegungsqualitäten gewährt wird.

Lösen eines Motorradhelms

Die Zusammenarbeit zweier Helfer ist obligat (Abb. 4). Ein Helfer

befindet sich oberhalb des Kopfes des Patienten. Bei geöffneten Verschlüssen des Helms greift er von unten in die Helmschale und spreizt diese. Der zweite Helfer befindet sich seitlich des Patienten und umfasst von vorne den Kopf, um dann Kopf und die Halswirbelsäule zu stabilisieren, während der Helm langsam vom Kopf des Patienten gezogen wird. Zum Anlegen der Zervikalstütze übernimmt nun der Helfer von oberhalb den Kopf, sodass der Hals zugänglich wird [40].

Schaufeltrage und Vakuummatratze

Der Patient wird von mindestens 2 Personen en Bloc gedreht, wobei zeitgleich der gesamte Rücken inklusive Lenden- und Brustwirbelsäule sowie Perineum kurz inspiziert werden können. Die Vakuummatratze wird zusammen mit einem Bergetuch und der Hälfte der Schaufeltrage untergeschoben. Durch Drehung auf die Gegenseite werden Matratze und Tuch ausgebreitet, die Schaufeltrage komplettiert, abschließend die Matratze anmodelliert und entlüftet. Sie bietet eine stabile Lagerung des gesamten Patienten für den Transport. Im Rahmen der Rettung aus unzugänglichen Bereichen ist die Lagerung auf Matratze und Schaufeltrage ggf. erst sekundär möglich.

Spineboard

Das Spineboard ist ein Kunststoffbrett, welches bei Verdacht auf Wirbelsäulenverletzung durch Logroll-Manöver seitlich unter den Patienten geschoben werden kann. Insbesondere beim Spineboard wird von manchen Autoren die Lift-and-slide Technik bevorzugt, um das Brett vom Kopf her unter den Patienten zu bringen [41, 42]. Durch verschiedene Gurtsysteme, modulare Auflagen und Kopffixierungssysteme ist die Verwendung bei Erwachsenen und Kindern möglich. Das Herstellungsmaterial ist röntgendurchlässig und schwimmfähig, was das Board für die Wasserrettung geeignet macht.

Aus diversen Gründen (Härte des Materials, unphysiologische Flachlagerung durch Gurte verstärkt) steht das Spineboard aktuell in der Kritik und wird voraussichtlich in Zukunft einigen wenigen Spezialindikationen vorbehalten bleiben.

Immobilisationskorsetts

Bei technischer Rettung oder Einsatz in schwierigem Gelände und beengten Räumen können Immobilisationskorsetts (z. B. Kendrick Extrication Device, Oregon Spine Splint) oder Rettungssitze die Bergung und Immobilisierung erleichtern. Im Gegensatz zu Spineboard, Korb- oder Schaufeltrage wird hier lediglich die obere Körperhälfte stabilisiert.

Schleifkorbtrage

Die Korbtrage findet ihre Hauptanwendung in der Höhen- und Luftrettung sowie in unwegsamer Umgebung. Durch die rigide Konstruktion umgibt sie den Patienten und bietet Schutz gegen Stöße sowie stabile Verhältnisse an der Seilwinde.



Abb. 4 Abnahme eines Motorradhelmes. Der Helm wird in Zweihelfertechnik entfernt. Helm und Kopf werden inline stabilisiert, der Verschluss geöffnet (a). Beim Abziehen des Helmes muss der Kopf von unten her durch den zweiten Helfer stabilisiert werden (b). Der Kopf muss in selber Ausrichtung fixiert bleiben (c), bis z. B. ein Stiffneck angelegt wurde.

.....
Die mechanische Stabilisierung am Unfallort ist von Bedeutung um sekundäre Schäden oder einen Progress zu vermeiden. Entsprechend dem ABCDE-Schema ist der Schutz der HWS Teil des „Airway“ und somit die erste Maßnahme!

Intubation

Bei einer Verletzung des Myelons oberhalb von C5 kann es zur zentralen (Medulla oblongata) als auch zur peripheren (N. phrenicus) Ateminsuffizienz kommen. In diesem Fall ist die mechanische Beatmung notwendig. Schwere Verletzungen der BWS können ebenfalls durch schwere Begleitschäden, z.B. Pneumothorax, Perikarderguss oder Aortenruptur- oder dissektion, zu Atmungs- oder Kreislaufproblemen führen (43, 44). Auch sekundär muss mit Ateminsuffizienz gerechnet werden, da sich ein intraspinales Hämatom nach kranial ausbreiten oder sich Fragmente verlagern können und so die Beatmung notwendig machen.

Die Indikation zur Intubation richtet sich ansonsten nach der empfohlenen Vorgehensweise bei polytraumatisierten Patienten [45]:

- ▶ Hypoxie (SpO₂ <90%) trotz Sauerstoffgabe und nach Ausschluss eines Spannungspneumothorax
- ▶ schweres SHT (GCS <9)
- ▶ traumaassoziierte hämodynamische Instabilität (RRsys <90 mmHg)
- ▶ schweres Thoraxtrauma mit respiratorischer Insuffizienz (Atemfrequenz >29)

Crush Intubation Da die Möglichkeit einer fiberoptischen Intubation am Unfallort im Normalfall nicht gegeben ist und auch das Videolaryngoskop nicht flächendeckend eingesetzt wird, soll die Intubation grundsätzlich unter manueller Inline Stabilisierung im Sinne einer Rapid Sequence Induction (Crush Intubation) erfolgen, wobei auf eine Oberkörperhochlagerung zu verzichten ist. Vor Narkoseeinleitung muss eine Präoxygenierung versucht und mit deutlich erschwerten Intubationsbedingungen gerechnet werden. Die Narkose erfolgt bei diesen Patienten zweckmäßiger Weise mit Esketamin (0,5–1,0 mg/kgKG i.v.) in Kombination mit Midazolam (bis zu 0,1 mg/kgKG i.v.) und Succinylcholin (1,5 mg/kgKG i.v.), weil dar-

unter die geringste Kreislaufdepression zu erwarten ist [46]. Bei der Intubation bzw. beim Intubationsversuch sind heftige Manipulationen zu vermeiden und bei deutlich erschwerten Intubationsbedingungen mit frustriertem Intubationsversuch frühzeitig an alternative Wege zur Atemwegssicherung (z.B. Larynx-tubus) zu denken. Nach Fixierung des Tubus muss dann die Zervikalstütze (wieder) angelegt werden.

Spannungspneumothorax Liegt nebenbefundlich der Verdacht auf einen Pneumothorax oder auf Rippenfrakturen vor, ist durch die Beatmung mit dem Auftreten eines Spannungspneumothorax zu rechnen, der dann ggf. rasch erkannt und entlastet werden muss.

Infusionstherapie

Volumensubstitution

Verletzungen der Wirbelsäule sind häufig mit schweren Begleitverletzungen anzutreffen. Auch wenn möglicherweise eine Querschnittslähmung droht gelten auch hier 2 Grundregeln der Rettungsmedizin: „Life before limb“ und „Treat first what kills first“. Erst nach Kontrolle, Sicherung und Unterstützung von „Airway“ und „Breathing“ steht „Circulation“: schwere Blutungen (häufig Mehrfachverletzungen!) können einen hämorrhagischen Schock auslösen, zusätzlich kann ein neurogener Schock zu einem funktionellen Volumenmangel führen. Es sollen daher frühzeitig mindestens 2 großlumige Zugänge für die Infusionstherapie gelegt werden. Nach den S3-Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie zur Schwerverletztenbehandlung wird als Schlüsselempfehlung bei unkontrollierbaren Blutungen eine Volumentherapie im präklinischen Bereich mit Ausnahme des Vorliegens eines Schädel-Hirn-Traumas nur in dem Maße empfohlen, wie ein niedrig stabiler Kreislauf erhalten werden kann und Blutungen nicht forciert werden. Hierzu sollen primär kristalline Lösungen verwendet werden, wobei Ringer-Maleat- und Ringer-Acetat-Lösungen gegenüber NaCl und Ringer-Lactat bevorzugt werden soll. Die Anwendung von Kolloiden (z.B. HAES 130/0,4) wird wegen des Einfluss auf die Gerinnung kontrovers diskutiert, ist aber weiterhin für die Behandlung eines therapiebedürftigen akuten Blutverlustes zulässig, wenn Kristalloide allein nicht ausreichend sind. Bei instabilen Kreislaufverhältnissen trotz Volumenzufuhr kommen Vasopressoren/Katecholamine zum Einsatz.

Hochdosiscortisontherapie bei spinalem Trauma

Die Hochdosierung von Methylprednisolon gemäß NASCIS II und III ist seit Einführung ein in der Literatur kontrovers diskutiertes Thema (47, 48). Zunächst erfolgte aus 3 randomisierten NASCIS-Studien eine generelle Empfehlung einer Hochdosis-Methylprednisolongabe nach spinalem Trauma (49). Diese Effekte konnten jedoch in anderen, ähnlich angelegten Studien, nicht bestätigt werden (50, 51). Die Deutsche Gesellschaft für Neurologie nimmt in ihrer S1-Leitlinie aus dem Jahr 2012 aufgrund der Nebenwirkungen und dem letztlich unzureichenden Effekt Abstand von einer Empfehlung zur Hochdosiscortisontherapie nach NASCIS II (51–53). Bei isolierter traumatischer Rückenmarkschädigung wird das NASCIS-III-Schema jedoch als mögliche Behandlungsoption diskutiert, wohingegen bei polytraumatisierten Patienten das NASCIS-II-Schema nicht mehr empfohlen wird (54). 2014 konnte in einer retrospektiven Studie gezeigt werden, dass die Hochdosiscortisontherapie nach traumatischen Rückenmarkverletzungen, insbesondere des zervikalen Myelons, das Risiko von schweren gastrointestinalen Blutungen mit letalem Ausgang erhöht (53).

Eine Umfrage aus dem Jahr 2013, welche an deutschen Universitätskliniken und angeschlossenen Lehrkrankenhäusern durchgeführt wurde, zeigte, dass, wie auch in der gesamten Literatur, kein einheitliches Vorgehen bezüglich einer Methylprednisolon-Therapie existiert (55).

Analgesie / Anxiolyse

Patienten ohne Indikation zur Intubation sollen medikamentös von Schmerz, Stress und Angst soweit wie möglich befreit werden. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass eine suffiziente Spontanatmung nach Möglichkeit erhalten bleibt. Von Vorteil ist zudem auch ein Erhalt der neurologischen Beurteilbarkeit nach Klinikaufnahme. Für die Analgesie können sowohl Esketamin, als auch Opiate wie z.B. Fentanyl zur Anwendung kommen, wobei Opiate vorsichtig titriert werden sollen, um eine Atemdepression zu vermeiden. Beim Esketamin ist in der Regel eine Dosierung von 0,125 bis 0,25 mg/kgKG i. v. (bzw. 0,25 bis 0,5 mg/kgKG i. m., wenn eine Analgesie noch vor Anlage eines Gefäßzugangs erfolgen muss) für eine Analgesie ausreichend, wobei bei dieser Dosierung die begleitende Medikation mit Midazolam noch nicht zwingend erforderlich ist.

Transport

Wahl des Traumazentrums

Nach Stabilisierung und Erstversorgung ist bei Verdacht einer Wirbelsäulen- oder RM-Verletzung der Transport in eine geeignete Einrichtung mit Kapazität in der Wirbelsäulenchirurgie, der entsprechenden Diagnostik (CT, MRT) sowie der intensivmedizinischen Versorgung indiziert, da dies das Outcome nachweislich verbessert (56, 57). Abhängig von der Erreichbarkeit eines Traumazentrums soll zur Schonung der Wirbelsäule gegebenenfalls ein luftgebundener Transport erwogen werden.

Fazit für die Praxis

Für das adäquate präklinische Management von Wirbelsäulenverletzungen ist das Erkennen bzw. Annehmen der Verletzung der Wirbelsäule von wesentlicher Bedeutung. Um keinen sekundären Schaden zu verursachen, bedarf es sowohl initial einer schonenden Rettung, als auch einer stabilen Lagerung. Die Erstversorgung erfolgt analog dem Vorgehen bei polytraumatisierten Patienten. Für die Anwendung von Kortikoiden in der Präklinik gibt es weder ausreichende Evidenz noch einen Konsens.

Um eine adäquate klinische Behandlung zu ermöglichen, soll unmittelbar der möglichst schonende Transport in ein Traumazentrum mit Wirbelsäulenchirurgie und Intensivüberwachung erfolgen.

Kernaussagen

- ▶ Wirbelsäulenverletzungen müssen weder sofort noch eindeutig erkennbar sein
- ▶ Die korrekte technische Rettung verhindert sekundäre Schäden
- ▶ Die Therapieoptionen am Unfallort konzentrieren sich im wesentlichen auf kreislaufsichernde Maßnahmen
- ▶ Mit Komplikationen durch Myelonverletzungen muss jederzeit gerechnet werden
- ▶ Die Anfahrt eines Traumazentrums mit Wirbelsäulenchirurgie muss gewährleistet werden.

Interessenkonflikt

Alle Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dank

Mein Dank gilt Herrn Professor Dr. Matthias Helm vom Bundeswehrkrankenhaus Ulm für die abschließende Korrektur und Bearbeitung des Manuskripts.

Literatur

- 1 Beck PDA, Bayeff-Filloff M, Sauerland S et al. Wirbelsäulenverletzung in der Präklinik. *Notf Rettungsmedizin* 2005; 8: 162–70
- 2 Butt AM, Gill C, Demerdash A et al. A comprehensive review of the sub-axial ligaments of the vertebral column: part I anatomy and function. *Childs Nerv Syst* 2015; 31: 1037–59
- 3 White AA 3rd, Johnson RM, Panjabi MM et al. Biomechanical analysis of clinical stability in the cervical spine. *Clin Orthop* 1975; 109: 85–96
- 4 Brasiliense LBC, Lazaro BCR, Reyes PM et al. Biomechanical contribution of the rib cage to thoracic stability. *Spine* 2011;36: E1686–93
- 5 Radcliff K, Hussain M, Moldavsky M et al. In Vitro Biomechanics of the Craniocervical junction - a Sequential Sectioning of Its Stabilizing Structures. *Spine* 2015; 15: 1618–1628
- 6 Schicho A, Einwag D, Gebhard F, Riepl C. Schwerverletzte durch Unfälle im Reitsport. *Dtsch Z Für Sportmed* 2014; 2014: 258–261
- 7 Lee MWL, McPhee RW, Stringer MD. An evidence-based approach to human dermatomes. *Clin Anat N Y N* 2008; 21: 363–73
- 8 Reinhold M, Knop C, Beisse R et al. Operative treatment of traumatic fractures of the thoracic and lumbar spinal column. Part I: epidemiology. *Unfallchirurg* 2009; 112: 33–42, 44–5
- 9 Traumaregister der DGU. Jahresbericht 2014. 2014.
- 10 Cavigelli A, Curt A. Differential diagnosis of acute spinal cord diseases. *Ther Umsch Rev Thérapeutique* 2000; 57: 657–60
- 11 Schouten R, Lewkonja P, Noonan VK et al. Expectations of recovery and functional outcomes following thoracolumbar trauma: an evidence-based medicine process to

- determine what surgeons should be telling their patients. *J Neurosurg Spine* 2015; 22: 101–111
- 12 Brown RL, Brunn MA, Garcia VF. Cervical spine injuries in children: a review of 103 patients treated consecutively at a level 1 pediatric trauma center. *J Pediatr Surg* 2001; 36: 1107–1114
 - 13 Finch GD, Barnes MJ. Major cervical spine injuries in children and adolescents. *J Pediatr Orthop* 1998; 18: 811–814
 - 14 Nuckley DJ, Linders DR, Ching RP. Developmental biomechanics of the human cervical spine. *J Biomech* 2013; 46: 1147–1154
 - 15 Gonschorek DO, Lorenz M, Bühren V. Wirbelsäulenverletzungen. *Trauma Berufs-krankh* 2013; 17: 157–63
 - 16 Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD et al. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *Eur Spine* 1994; 3: 184–201
 - 17 Charles YP, Steib J-P. Management of thoracolumbar spine fractures with neurologic disorder. *Orthop Traumatol Surg Res OTSR* 2015; 101: S31–40
 - 18 Waters RL, Sie IH. Spinal cord injuries from gunshot wounds to the spine. *Clin Orthop* 2003; 408: 120–125
 - 19 H. Schmal NPS. Traumatische atlantookzipitale Dissoziation im Rahmen einer Komplexverletzung der HWS. *Unfallchirurg* 2007; 110: 720–725
 - 20 Traynelis VC, Marano GD, Dunker RO et al. Traumatic atlanto-occipital dislocation. Case report. *J Neurosurg* 1986; 65: 863–870
 - 21 Jr JAG, Duff DE, Martinez S, Miller MD et al. Fractures of the atlas vertebra. *Skeletal Radiol* 1976; 1: 97–102
 - 22 Anderson LD, D'Alonzo RT. Fractures of the odontoid process of the axis. *J Bone Joint Surg Am* 1974; 56: 1663–1674
 - 23 Hosalkar HS, Greenbaum JN, Flynn JM et al. Fractures of the odontoid in children with an open basilar synchondrosis. *J Bone Joint Surg Br* 2009; 91: 789–96
 - 24 Effendi B, Roy D, Cornish B et al. Fractures of the ring of the axis. A classification based on the analysis of 131 cases. *J Bone Joint Surg Br* 1981; 63-B: 319–327
 - 25 Vaccaro AR, Oner C, Kepler CK et al. AOSpine thoracolumbar spine injury classification system: fracture description, neurological status, and key modifiers. *Spine* 2013; 38: 2028–2037
 - 26 Blauth M, Knop C, Bastian L et al. Complex injuries of the spine. *Orthop* 1998; 27: 17–31
 - 27 Hagen EM. Acute complications of spinal cord injuries. *World J Orthop* 2015; 6: 17–23
 - 28 Phillips AA, Krassioukov AV. Contemporary Cardiovascular Concerns after Spinal Cord Injury: Mechanisms, Maladaptations & Management. *J Neurotrauma* 2015; 32: 1927–1942
 - 29 Dominic Foo TSS. Post-traumatic acute anterior spinal cord syndrome. *Paraplegia* 1981; 19: 201–205
 - 30 Klakeel M, Thompson J, Srinivasan R et al. Anterior spinal cord syndrome of unknown etiology. *Proc Bayl Univ Med Cent* 2015; 28: 85–87
 - 31 D Greg Anderson AS. Traumatic central cord syndrome: neurologic recovery after surgical management. *Am J Orthop Belle Mead NJ* 2012; 41: E104–108
 - 32 Schroeder GD, Kepler CK, Hjelm N et al. The effect of vertebral fracture on the early neurologic recovery in patients with central cord syndrome. *Eur Spine J* 2015; 24: 985–989
 - 33 Kulkarni AG, Nag K, Shah S. Cervical epidural haematoma causing Brown-Sequard syndrome: a case report. *J Orthop Surg Hong Kong* 2013; 21: 372–374
 - 34 Belen JG, Weingarden SI. Posterior central cord syndrome following a hyperextension injury: case report. *Spinal Cord* 1988; 26: 209–211
 - 35 Pang D, Wilberger JE. Spinal cord injury without radiographic abnormalities in children. *J Neurosurg* 1982; 57: 114–129
 - 36 Kothari P, Freeman B, Grevitt M et al. Injury to the spinal cord without radiological abnormality (SCIWORA) in adults. *J Bone Joint Surg Br* 2000; 82: 1034–1037
 - 37 Baker C, Kadish H, Schunk JE. Evaluation of pediatric cervical spine injuries. *Am J Emerg Med* 1999; 17: 230–234
 - 38 Cohn SM, Lyle WG, Linden CH et al. Exclusion of cervical spine injury: a prospective study. *J Trauma*. 1991; 31: 570–574
 - 39 Advanced Trauma Life Support® Kursbuch. München: Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH; 2014: 344
 - 40 Wölfl C, Matthes G. Unfallrettung: Einsatztaktik, Technik und Rettungsmittel. 1. ed. Stuttgart: Schattauer; 2010: 272
 - 41 Horodyski M, Conrad BP, Del Rossi G, DiPaola CP, Rehtine GR. Removing a patient from the spine board: is the lift and slide safer than the log roll? *J Trauma* 2011; 70: 1282–1285; discussion 1285
 - 42 Conrad BP, Rossi GD, Horodyski MB et al. Eliminating log rolling as a spine trauma order. *Surg Neurol Int.* 2012; 3: S188–197
 - 43 Rush JK, Kelly DM, Astur N et al. Associated injuries in children and adolescents with spinal trauma. *J Pediatr Orthop* 2013; 33: 393–397
 - 44 Oyetunji TA, Jackson HT, Obirieze AC et al. Associated injuries in traumatic sternal fractures: a review of the National Trauma Data Bank. *Am Surg* 2013; 79: 702–705
 - 45 Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften. S3 Leitlinie: Polytrauma / Schwerverletzten-Behandlung 2011. Im Internet: <http://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/012-019.html>
 - 46 Adams HA, Flemming A. Analgesie, Sedierung und Anästhesie in der Notfallmedizin. *Anästhesiologie* 2015; 56: 75–90
 - 47 Young W. NASSIS. National Acute Spinal Cord Injury Study. *J Neurotrauma* 1990; 7: 113–4
 - 48 Bracken MB, Shepard MJ, Holford TR et al. Administration of methylprednisolone for 24 or 48 hours or tirilazad mesylate for 48 hours in the treatment of acute spinal cord injury. Results of the Third National Acute Spinal Cord Injury Randomized Controlled Trial. *National Acute Spinal Cord Injury Study.* *JAMA* 1997; 277: 1597–1604
 - 49 Bracken MB, Holford TR. Neurological and functional status 1 year after acute spinal cord injury: estimates of functional recovery in National Acute Spinal Cord Injury Study II from results modeled in National Acute Spinal Cord Injury Study III. *J Neurosurg* 2002; 96: 259–266
 - 50 Hurlbert RJ. Strategies of medical intervention in the management of acute spinal cord injury. *Spine* 2006; 31: S16–21; discussion S36
 - 51 Hurlbert RJ. The role of steroids in acute spinal cord injury: an evidence-based analysis. *Spine* 2001; 26: S39–46
 - 52 Bracken MB. Steroids for acute spinal cord injury. *Cochrane Database Syst Rev* 2012; 1: CD001046
 - 53 Khan MF, Burks SS, Al-Khayat H, Levi AD. The effect of steroids on the incidence of gastrointestinal hemorrhage after spinal cord injury: a case-controlled study. *Spinal Cord* 2014; 52: 58–60
 - 54 Hurlbert RJ. Methylprednisolone for acute spinal cord injury: an inappropriate standard of care. *J Neurosurg* 2000; 93: 1–7
 - 55 Druschel C, Schaser K-D, Schwab JM. Current practice of methylprednisolone administration for acute spinal cord injury in Germany: a national survey. *Spine* 2013; 38: E669–677
 - 56 Lubbert PHW, Kaasschieter EG, Hoorntje LE et al. Video registration of trauma team performance in the emergency department: the results of a 2-year analysis in a Level 1 trauma center. *J Trauma* 2009; 67: 1412–1420
 - 57 Westhoff J, Kröner C, Meller R et al. Entrapped motorists and air rescue services: analysis of tactical rescue approach, rescue techniques, and emergency medical services illustrated by a helicopter emergency medical service. *Unfallchirurg* 2008; 111: 155–161