

C. Hasler¹ · B. Jeanneret²

¹Kinderorthopädische Universitätsklinik Basel

²Orthopädische Universitätsklinik, Felix Platter-Spital, Basel

Wirbelsäulenverletzungen im Wachstumsalter

Zusammenfassung

Wirbelsäulenverletzungen im Wachstumsalter sind selten, gehen jedoch häufiger als beim Erwachsenen mit neurologischen Störungen einher. Diese können auch ohne konventionell radiologisch fassbare Verletzungen vorkommen. Die Problematik der Röntgendiagnostik liegt v. a. in der Abgrenzung von Synchondrosen und Apophysen gegenüber Frakturlinien. Bei neurologischen Ausfällen ohne radiologisch fassbare Läsionen ist die Abklärung mittels Magnetresonanztomographie indiziert. Die Verletzungstypen entsprechen im Prinzip denjenigen der Erwachsenen, zusätzlich sehen wir Verletzungen der Endplatten (Wachstumsfuge) und der Ringapophysen. Stabile Kompressionsfrakturen werden konservativ behandelt. Die Fähigkeit zur spontanen Korrektur einer posttraumatischen Fehlstellung nimmt mit dem Alter ab: Bei den unter 10-jährigen Kindern ist die Wiederaufrichtungspotenz der posttraumatischen Kyphose ausgezeichnet, während Fehlstellungen in der Frontalebene nur zögerlich oder gar nicht remodellieren. Instabile Verletzungen sowie Verletzungen mit Kompression von neuralen Strukturen werden im Prinzip operativ behandelt.

Schlüsselwörter

Wirbelsäule · Kindesalter ·
Wirbelsäulenverletzung · Spontankorrektur ·
Fraktur

Im Gegensatz zu den gut bekannten Verletzungen des Erwachsenen sind die Verletzungen der kindlichen Wirbelsäule sehr viel seltener und deshalb auch weniger bekannt. Während die Verletzungen des Adoleszenten denjenigen des Erwachsenen gleichen, weisen die Verletzungen der Kleinkinder Besonderheiten in Bezug auf Erscheinungsbild, Therapie und Prognose auf, die in diesem Artikel beschrieben werden. Die Kenntnis der Klassifikation der Frakturen der Erwachsenen Wirbelsäule wird vorausgesetzt [11, 19].

Häufigkeit

Verletzungen der kindlichen Wirbelsäule sind selten. Sie stellen nur 1,5% aller kindlichen Verletzungen bzw. 2–5% aller Wirbelsäulentraumata dar [31]. Dies liegt daran, dass Kinder nicht dem Risiko von Arbeitsunfällen ausgesetzt sind und Traumen wie sie bei Erwachsenen im Rahmen von Arbeit, Verkehrsunfällen oder beim Sport vorkommen, selten sind. Wahrscheinlich sind diese Zahlen aber etwas zu tief, weil nicht selten bei einfachen Traumen auf eine radiologische Abklärung verzichtet wird und zudem die Interpretation der Röntgenanatomie der kindlichen Wirbelsäule Schwierigkeiten bereiten kann. Erfahrungsgemäß werden deshalb nicht selten Kompressionsfrakturen verpasst und erst aufgrund einer sich entwickelnden Keilform retrospektiv diagnostiziert.

Altersverteilung

Das durchschnittliche Alter der Kinder mit Wirbelsäulenverletzungen liegt bei 11 Jahren, wobei 2 Altersgipfel imponieren: die 3- bis 4-Jährigen und die Adoleszenten. Die Altersgruppe der 3- bis 4-Jährigen ist vor allem als Autoinsasse bei Verkehrsunfällen und bei Stürzen aus einer gewissen Höhe gefährdet, während die meist männlichen Adoleszenten aufgrund ihrer erhöhten Risikobereitschaft besonders beim Sport und als aktive Verkehrsteilnehmer gefährdet sind [21, 24, 37].

Verletzungshöhe

Das Alter der Kinder bestimmt die prädominante Verletzungshöhe: Während bei den Adoleszenten die Verletzungen am thorakolumbalen Übergang dominieren und das Verletzungsmuster demjenigen der Erwachsenen entspricht, ist bei Kleinkindern besonders häufig die obere Halswirbelsäule und die mittlere Brustwirbelsäule betroffen [30, 31].

Verletzungsursache

Wie beim Erwachsenen sind die Verletzungsursachen mannigfaltig:

Dr. Carol-C. Hasler
Orthopädische Abteilung,
Universitäts-Kinderspital beider Basel,
Römergasse 8, 4005 Basel/Schweiz,
E-Mail: cjhasler@swissonline.ch

C. Hasler · B. Jeanneret

Pediatric spine injuries

Abstract

Spine injuries during growth are rare, but in comparison to adults they are more often associated with neurologic impairment. They also may occur without visible injuries in X-rays. The problems of conventional radiologic diagnostics include before all the differential diagnosis between synchondrosis, apophysis and fracture lines. MRI is indicated in case of neurologic deficits without radiologic abnormalities. In principle the fracture types correspond to those seen in adults. In addition growth specific injuries of the endplates (growth plates) or ring apophysis may occur. Stable compression fractures are treated conservatively. The spontaneous remodelling capacity for posttraumatic deformities decreases with age: in children below the age of ten years the remodelling capacity for posttraumatic kyphosis is excellent whereas deformities in the frontal plane show no or only incomplete remodelling. Unstable fractures and injuries with associated compression of neural structures should be treated conservatively.

Keywords

Spine · Injuries · Pediatric · Remodelling · Fracture

Zum Thema: Krummer Rücken

Verkehrsunfälle. Bei Verkehrsunfällen sind Kinder vor allem als Fußgänger oder als Pkw-Mitfahrer betroffen [21]. Obwohl die Sicherung in altersgerechten Sitzen oder mit Gurten zu einem Rückgang der Verletzungen geführt hat, kommt es auch bei modernen Fixierungssystemen zu Wirbelsäulenverletzungen. Die Halswirbelsäule (HWS) ist auch bei diesen Sicherheitssystemen frei beweglich und bei einem Aufprall durch die einwirkenden Distraktionskräfte gefährdet. Zudem kann der schräge Schulteranteil des Dreipunktgurtes die untere HWS oder den Plexus brachialis direkt verletzen. Beckengurte sollten nicht mehr verwendet werden. Bei einem Aufprall führen diese zu Distraktionsverletzungen im LWS-Bereich im Sinne von Chance-Frakturen mit horizontaler Spaltung des Wirbelkörpers und zudem auch zu intraabdominellen Verletzungen („lap belt syndrome“; [29]). Bei Fahrradunfällen sind neben HWS-Läsionen zusätzlich Verletzungen der oberen Brustwirbelsäule (BWS) typisch.

Sturzverletzungen. Stürze kommen vor allem beim Sport z. B. Snowboard, Rodeln usw. vor. Solche Stürze sind in der Regel für Kompressionsfrakturen im BWS- und LWS-Bereich verantwortlich.

Geburtsverletzungen. Komplizierte Geburten, bei denen innere Wendungen des Kindes oder der Gebrauch der Zange notwendig werden, können mit zervikothorakalen oder hochthorakalen Läsionen mit oder ohne Rückenmarksverletzung einhergehen. Muskelhypotonie, Zwerchfelllähmung, Tetra- oder Paraplegie nach schwierigen Geburten müssen deshalb differenzialdiagnostisch an eine entsprechende Verletzung denken lassen und eine entsprechende Abklärung mittels Magnetresonanztomographie (MRT) nach sich ziehen [12, 22].

Kindsmisshandlungen. Obwohl bei Kindsmisshandlungen die Wirbelsäulenverletzungen nur 2–3% aller Frakturen ausmachen, sollte die Bildgebung der Wirbelsäule Bestandteil der Routineabklärung sein. Meist liegen Begleitverletzungen vor, isolierte Wirbelsäulenverletzungen kommen jedoch auch vor. Am häufigsten werden thorakolumbale und lumbale Kompressionsfrakturen beobachtet. Fälle von Luxationsfrakturen, sowie seltene Verletzungen wie z. B. eine gleichzeitige

Lösung der kranialen und der kaudalen Wachstumsfuge am gleichen Wirbel wurden beobachtet [4].

Neurologische Komplikationen

Die Häufigkeit von neurologischen Ausfällen bewegt sich zwischen 14% und 57% [21, 24, 31], wobei komplette Querschnittssyndrome bei 19–25% der Patienten beobachtet werden. Halswirbelsäulenverletzungen haben mit 20–30% neurologischen Komplikationen das höchste Risiko.

Wie beim Erwachsenen sind Rückenmarkskompressionen oder Dehnungen aufgrund von Luxationen oder dislozierter Knochenfragmente für die neurologischen Ausfälle verantwortlich. Aufgrund der größeren Bandlaxität können jedoch beim Kind Bewegungen stattfinden, die zwar zu einer Läsion des Rückenmarkes führen, jedoch nicht immer mit einer radiologisch fassbaren Läsion der Wirbelsäule einhergehen (SCIWORA: „spinal cord injury without radiographic abnormality“). Diesem Phänomen liegt die kindsspezifische Bandlaxität und Hypermobilität der Wirbelsäule zugrunde: die kindliche Wirbelsäule kann experimentell 5 cm ohne Zerreißung von ligamentären Strukturen gedehnt werden, während die Erwachsenenwirbelsäule schon nach 6 mm Läsionen zeigt [16]. Bei Kindern mit neurologischer Symptomatik nach einem Wirbelsäulentrauma beträgt der SCIWORA Anteil 20–60% [24, 31]. Die MRT ist bei diesen Patienten sehr hilfreich und zeigt in der Regel die Ursache der neurologischen Ausfälle: Beschrieben sind Rupturen des anterioren und/oder posterioren Längsbandes, Diskushernien, Rückenmarkdurchtrennungen, -blutungen und -ödeme usw. [8].

Die *Prognose* der neurologischen Ausfällen hängt von der Ausprägung des neurologischen Defizits sowie vom Alter des Kindes ab, wobei Patienten mit kompletten Querschnittssyndromen und jüngere Kinder eine schlechtere Erholungstendenz zeigen.

Bildgebende Diagnostik

Die Schwierigkeit der radiologischen Abklärung beim Kind liegt in der sich mit dem Wachstum ändernden Röntgenmorphologie [36]. Das Ossifikationsmuster muss bekannt und berücksichtigt werden, zusätzlich müssen bei keil-

Tabelle 1

Differenzialdiagnose des kindlichen Keilwirbels

Fraktur	Oft asymmetrische Keilform, flache oder konkave Deckplatte, Spongiosaverdichtung unter knöcherner Deckplatte, flachere und breitere Wirbelkörper, Serienfrakturen, positives Szintigramm
Pathologische Fraktur	Eosinophiles Granulom, Leukämie, aneurysmatische Knochenzyste, M. Calvé: aseptische Knochennekrose
Morbus Scheuermann	Mehrere Wirbel betroffen, Diskusverschmälerung, a.-p.-Durchmesser höher, Schmorlsche Knötchen
Spondylitis	Eventuell mit pathologischer Fraktur, evtl. Fieber, Krankheitsgefühl, Schmerz, Status nach Infekt, Leukozytenzahl erhöht, erhöhte Blutsenkungsgeschwindigkeit, erhöhtes C-reaktives Protein, positive Blutkulturen, Szintigramm positiv
Tumor	Positives Szintigramm, CT
Stoffwechselstörung	Osteogenesis: oft auf mehreren Niveaus. Mukopolysaccharidose v. a. Morquio: alle Wirbel involviert wie bei spondyloepiphysärer Dysplasie
Kongenital	Hemivertebrae kein Schmerz, oft Endplatten- und Diskusabnormitäten, normales Szintigramm

förmigen Wirbeln differenzialdiagnostisch zum Trauma andere Entitäten in Betracht gezogen werden (Tabelle 1).

Primär wird jede Verletzung konventionell radiologisch abgeklärt. Zur Abklärung der gesamten Wirbelsäule sind folgende Projektionen unerlässlich: HWS a.-p./seitlich, BWS a.-p./seitlich und LWS a.-p./seitlich. Zusätzlich sollte zur Abklärung der HWS eine transorale Aufnahme vorgenommen werden. Falls dies nicht möglich ist (Kleinkind, mangelhafte Kooperation), muss zur Abklärung der oberen HWS eine Computertomographie (CT) erfolgen. Diese Abklärung der oberen HWS mittels CT ist zudem bei jedem Schädel-Hirn-Trauma unerlässlich. Eine CT wird auch immer dann vorgenommen, wenn eine Atlasfraktur oder eine eventuelle Einengung des Spinalkanals durch eine Berstungsfraktur abgeklärt werden soll.

Eine MRT wird dagegen zur Abklärung des Rückenmarks sowie der diskoligamentären Strukturen in unklaren Situationen vorgenommen. Sie ist besonders dann indiziert, wenn trotz klinisch dringendem Verdacht auf eine Wirbelsäulenverletzung konventionell radiologisch die Diagnose nicht bestätigt werden kann oder wenn die Ursache einer neurologischen Ausfallsymptomatik unklar ist und abgeklärt werden soll. Bei der Indikationsstellung zur CT oder MRT-Untersuchung sollte bedacht werden, dass für CT- und MRT-Untersuchungen bei jüngeren Kindern eine An-

ästhesie benötigt wird und die CT-Untersuchung eine zusätzliche Strahlenbelastung beinhaltet.

Funktionsaufnahmen unter Bildverstärkerkontrolle sind zur Beurteilung von diskoligamentären Verletzungen unerlässlich. Sie müssen vom Arzt selbst vorgenommen werden und sollten, falls möglich, bei wachem Patienten durchgeführt werden.

Die Skelettszintigraphie hat dann ihre Berechtigung, wenn bei Verdacht auf eine Kindsmisshandlung frische oder in Konsolidation begriffene Frakturen nachgewiesen werden sollen.

Verletzungstypen

Beim Kind können sämtliche Verletzungen des Erwachsenen beobachtet werden. Wie beim Erwachsenen können die Verletzungen in Kompressions-, Distractions- und Rotationsverletzungen unterteilt werden. Im Folgenden werden lediglich die Verletzungen näher erläutert, die Besonderheiten gegenüber der Verletzungen des Erwachsenen aufweisen.

Verletzungen der knorpeligen Anlagen

Bandscheibe, knorpelige Endplatten und Ringapophysen bilden im Zwischenwirbelbereich eine anatomische Einheit, wobei die Bandscheibe die mechanisch höchste Widerstandsfähigkeit aufweist.

Frakturen der knorpeligen Wirbelkörperendplatte

Als locus minoris resistentiae bei Einwirkung von Kompressionskräften hat sich in experimentellen Kadaver- und Tierversuchen die knorpelige Endplatte und damit die Wachstumsfuge der Wirbelkörper erwiesen [2, 13]. Der histologische Aufbau in Schichten entspricht weitgehend dem einer peripheren Wachstumsfuge und ebenso wie diese, stellt auch die Endplatte den Ort des Längenwachstums dar. Im Gegensatz zu den langen Röhrenknochen ist die Endplatte jedoch nicht durch eine knöcherne Epiphyse geschützt sondern grenzt direkt an den Discus intervertebralis an.

Somit ergeben sich folgende Wirbelverletzungen mit Einbeziehung der Endplatte:

- Reine Lösung der Wachstumszone durch die hypertrophierende Knorpelzellschicht.
- Die Frakturlinie durchquert senkrecht die Wachstumszone. Meistens ist diese Fraktur dorsal am Wirbelkörper lokalisiert und mit einem Abriss des Anulus fibrosus kombiniert. Teile der Bandscheibe können im Frakturspalt eingeklemmt sein [17].

Prognose. Läsionen der Wachstumsfugen führen potenziell zu sekundären Deformitäten [21].

Verletzungen des Apophysenrings

Der Apophysenring dient nicht dem Wirbelwachstum, sondern vornehmlich der Verankerung des Anulus fibrosus am Wirbelkörper. Ferner dient er auch als Insertion der Pars lumbalis diaphragmae. Die Apophysen ossifizieren ab dem 13. Lebensjahr und fusionieren ab dem 17. Lebensjahr mit dem Wirbelkörper, wobei dieser Prozess normalerweise bis zum 25. Lebensjahr abgeschlossen ist. In Einzelfällen kann der Apophysenring jedoch auch im Erwachsenenalter persistieren [6, 32]. Meist werden Apophysenabrisse im Bereich der unteren Lendenwirbelsäule bei männlichen Adoleszenten als Läsionen der kranialen Apophyse gefunden, seltener auch an der Brust- und Halswirbelsäule, wobei dann vor allem die kaudalen Ringe betroffen sind [35].

Pathogenetisch können sowohl ein einzelnes heftiges Trauma als auch repe-

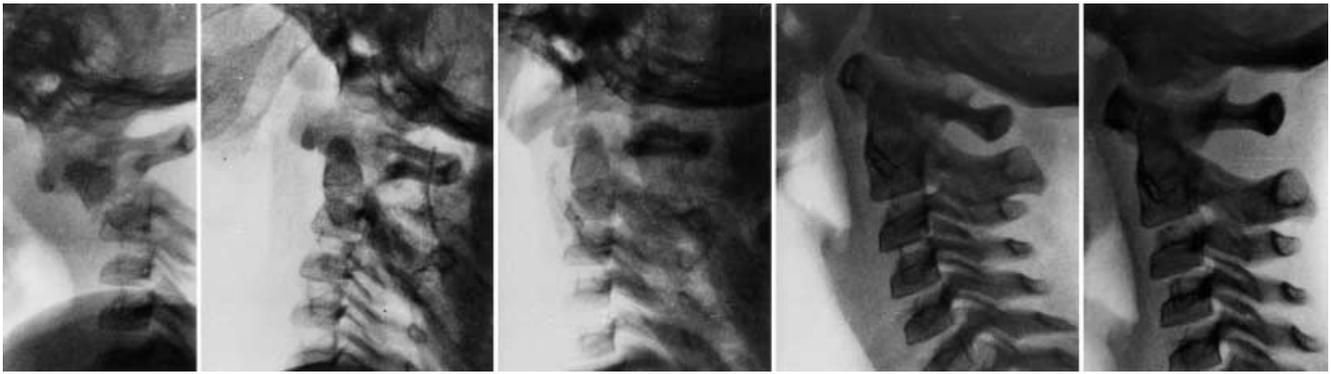


Abb. 1 ▲ **2-jähriges Mädchen: Densfraktur mit Ventralabkippung und -translation. Unmittelbar nach dem Trauma trat eine Halbseiten-Symptomatik und Horner-Syndrom auf, welche sich nach geschlossener Reposition innerhalb weniger Tage vollständig erholten. Folgenlose Ausheilung im Minervagips über 2 Monate**

titive Traumen beim Sport (Kunstturnen, Ringen) dieser Verletzung zugrunde liegen und zu radiologischen Abnormitäten im Apophysenbereich führen. Entsprechend der einwirkenden Kräfte kommt es durch Traktion zur Vergrößerung oder Persistenz der Apophyse oder durch Kompression zur Exkavation des Wirbelkörperendes [35]. Bei akuten Traumen entscheidet das Stadium des Ossifikationsprozesses über Zusammensetzung und Größe des abgerissenen hinteren Knorpel- und/oder Knochenfragmentes:

- ▶ Typ I: Apophyse mit Kortikalisaustriss,
- ▶ Typ II: Apophyse mit Kortikalis und Spongiosa,
- ▶ Typ III: Apophyse mit einem kleinen lateralen Wirbelkörperfragment,
- ▶ Typ IV: Apophyse mit Austriss der ganzen Wirbelkörperhinterwand.

Klinisches Bild. Typischerweise präsentieren sich die Patienten mit lumbalen Rückenschmerzen, sowie Beinschmerzen und neurologischen Ausfällen unterschiedlichen Ausmaßes. Begleitend kann auf Frakturhöhe eine Diskushernie vorliegen [6, 32].

Therapie. Exzision des fibrocartilaginären, respektive knöchernen Fragmentes bei Persistenz von radikulären Symptomen.

Halswirbelsäule

Atlantookzipitale Dislokation

Diese seltene Verletzung ist doppelt so häufig bei Kindern wie beim Erwachse-

nen [33]. Sie entsteht in der Regel anlässlich einer Kollision des Kindes mit einem schnell fahrenden Objekt, z. B. mit einem Auto, seltener mit einem Skifahrer. Durch den Aufprall wird der Kopf sozusagen weggerissen, das Rückenmark bzw. die Medulla oblongata gedehnt oder zerrissen.

Klinisches Bild. Je nach Ausdehnung der Läsionen des Rückenmarks, des Hirnstammes sowie der Hirnnerven zeigen die Patienten Atemstörungen von Schnappatmung bis zum Atemstillstand und sofortigem Tod. Herzrhythmusstörungen und asymmetrische Lähmungen werden ebenfalls oft beobachtet. Die Mortalität der atlantookzipitalen Dislokation beträgt 50% und mehr [24]. Mit der Verbesserung des Rettungswesens und sofortiger Intubation am Unfallort überleben allerdings immer mehr Verunfallte.

Dislokationstypen. Am häufigsten kommen Dislokationen nach ventral vor (Typ I), zum Teil kombiniert mit Instabilität in axialer Richtung. Doch auch dorsale Luxationen (Typ II) und axiale Dislokationen mit globaler Instabilität (Typ III) kommen vor.

Diagnostik. Die bildgebende Diagnostik basiert auf der Translation des Schädels gegenüber dem Atlas: Absolute Grenzwerte in Millimetern haben sich nicht bewährt, da der variable Röntgenvergrößerungsfaktor eine Fehlerquelle darstellt. Zudem haben Untersuchungen an unverletzten Kindern gezeigt, dass der errechnete Grenzwert von 10 mm Distanz zwischen Basion (vorderer Rand

des Foramen magnum) und dem Dens auch in der Normalpopulation in den meisten Fällen übertroffen wird. Geeigneter ist das Verhältnis folgender Distanzen: Abstand Basion zu Vorderrand des hinteren Atlasbogens geteilt durch den Abstand zwischen Opisthion (Hinterwand des Foramen magnum) und hinterer Begrenzung des vorderen Atlasbogens. Werte unter 0,9 sind normal, über 1 pathologisch [26]. Die Messung kann anhand einer lateralen Röntgenaufnahme der HWS oder einer sagittalen medianen CT-Rekonstruktion erfolgen. Besser bewährt hat sich allerdings die paramediane sagittale Rekonstruktion von CT oder MRT-Bilder. Hier kann die Relation der Okzipitalkondylen zum Atlas einfacher und sicherer beurteilt werden.

Therapie. Notfallmäßige geschlossene Reposition gefolgt von Halo-Fixation über ca. 2 Monate. Eine offene Reposition mit okzipitovervikaler Spondylodese ist ebenfalls möglich und bei sehr instabilen Verletzungen der konservativen Behandlung vorzuziehen.

Prognose. Neurologische Ausfälle bei Überlebenden kommen bei über 80% vor, davon zu 40% in Form einer Tetraparese [27].

Atlasfrakturen

Neben der hinteren Atlasbogenfrakturen und der Jefferson-Fraktur kommen hier kinderspezifische Verletzungen vor.

Frakturtypen. Die Fraktur verläuft meist durch die vordere Synchondrose, welche erst mit ca. 7 Jahren fusioniert. Isolierte Frakturen durch den hinteren Atlasbogen sind nur als Einzelfälle beschrieben [1].

Diagnostik. Synchondrosen des Atlas (C1) können als Frakturlinien verkannt wer-

den. Am Atlas schließt sich die hintere Synchondrose in der Mitte des hinteren Atlasbogens im 3. Lebensjahr, während die Übergänge zwischen Bogen und Korpus erst im 7. Jahr fusionieren. Die vordere Synchondrose fusioniert erst mit ca. 7 Jahren [20, 34]. Der relative Wachstumsvorsprung des Atlas gegenüber dem Axis in den ersten Lebensjahren kann als Ringsprengung („pseudospread“) missgedeutet werden, da dann die Massae laterales des Atlas über den Rand der Gelenkflächen C2 nach lateral ragen [34]. Bei Frakturverdacht ist eine Computertomographie unerlässlich.

Therapie und Prognose. Die normalerweise stabilen Frakturen können konservativ zum Beispiel im Minerva-Gips folgenlos zur Ausheilung gebracht werden.

Atlantoaxiale Dislokation (AAD)

Klinisches Bild. Nach ligamentärer translatorischer AAD geben die Patienten unspezifische Nackenschmerzen an und zeigen oft erst sekundär neurologische Defizite. Bei der rotatorischen AAD imponiert dagegen ein schmerzhafter Schiefhals, bei dem im Gegensatz zum kongenitalen Tortikollis die Schultern symmetrisch stehen, der Kopf keine Lateraltranslation aufweist und der M. sternocleidomastoideus auf der Seite, zu der der Kopf gedreht ist, angespannt und verhärtet ist.

Verletzungstypen. Translatorische AAD wird die Ventralverschiebung des Atlas gegenüber dem Axis bei Ruptur des Lig. transversum atlantis genannt. Bei der traumatischen rotatorischen AAD liegt neben der Verdrehung des Atlas über C2 oft auch eine deutliche Verkipfung des Atlas vor, eventuell mit unilateraler Verhakung der Gelenkfortsätze. Je nachdem, ob das Lig. transversum ebenfalls rupturiert ist oder nicht, liegt zusätzlich auch eine Ventralverschiebung von C1 über C2 vor.

Diagnostik. Translatorische AAD: Sagittaler atlantodentaler Abstand in der Flexionsaufnahme der HWS >5 mm. Das gerissene Lig. transversum atlantis kann auch in der MRT dargestellt werden. Rotatorische AAD: Die konventionelle radiologische Abklärung mit transoraler Densaufnahme zeigt eine asymmetrische Darstellung der atlantoaxialen Gelenke. Besser gezeigt wird die rotatorische Fehlstellung in der Computertomographie.

Therapie. Bei translatorischer AAD sollen C1 und C2 mittels dorsaler Spondylodese C1/2 z. B. mit der transartikulären Verschraubung nach Magerl fusioniert werden, da auch eine länger dauernde konservative Ruhigstellung keine ausreichende Stabilität des Bewegungssegmentes C1/2 gewährleistet. Bei rotatorischer AAD genügt im akuten Stadium häufig ein Längszug, um die rotatorische Dislokation zu reponieren. Ist das Lig. transversum intakt, kann die Läsion mit einer Ruhigstellung in einem harten Kragen oder in einem Minerva-Gipskorsett zur Ausheilung gebracht werden. Liegt zusätzlich eine Läsion des Lig. transversum atlantis vor, muss eine Spondylodese C1/2 erfolgen.

Densfrakturen

Die seltenen Frakturen des Dens axis ereignen sich typischerweise bei Kleinkindern nach Stürzen auf den Kopf, wenn die Synchondrose zwischen Densbasis und Wirbelkörper C2 noch offen ist.

Klinisches Bild. Schmerzhafter Tortikollis, fehlende Kopfkontrolle. Neurologische Ausfälle sind meist nur in Assozia-

tion mit begleitenden Schädelhirntraumen zu beobachten. Eine Korrelation zwischen Ausmaß der Densdislokation und neurologischer Symptomatik besteht nicht, da es bei der Lagerung des Patienten, vor allem im Röntgen, zu Spontanrepositionen kommen kann.

Frakturtypen. Die Verletzung entspricht einer Lösung der Synchondrose mit Ventralverlagerung der Dens (Abb. 1) und entspricht damit einem Frakturtyp III beim Erwachsenen. Meist liegt neben einer ventralen Translation auch eine Angulation des Dens in Kyphose vor.

Diagnostik. Auch beim Axis können Synchondrosen als Frakturlinien missgedeutet werden. Der Axis weist eine komplexe Röntgenanatomie auf: eine horizontale Synchondrose an der Densbasis, sowie angrenzend 2 vertikale Synchondrosen am Übergang von Korpus zu Bögen bilden eine H-förmige Synchondrose, welche zwischen dem 3. und 6. Lebensjahr fusioniert. Gelegentlich ist die Synchondrose an der Densbasis jedoch als feine Linie bis nach dem 10. Lebensjahr sichtbar. In dieser Periode erscheint auch ein Knochenkern an der Denspit-

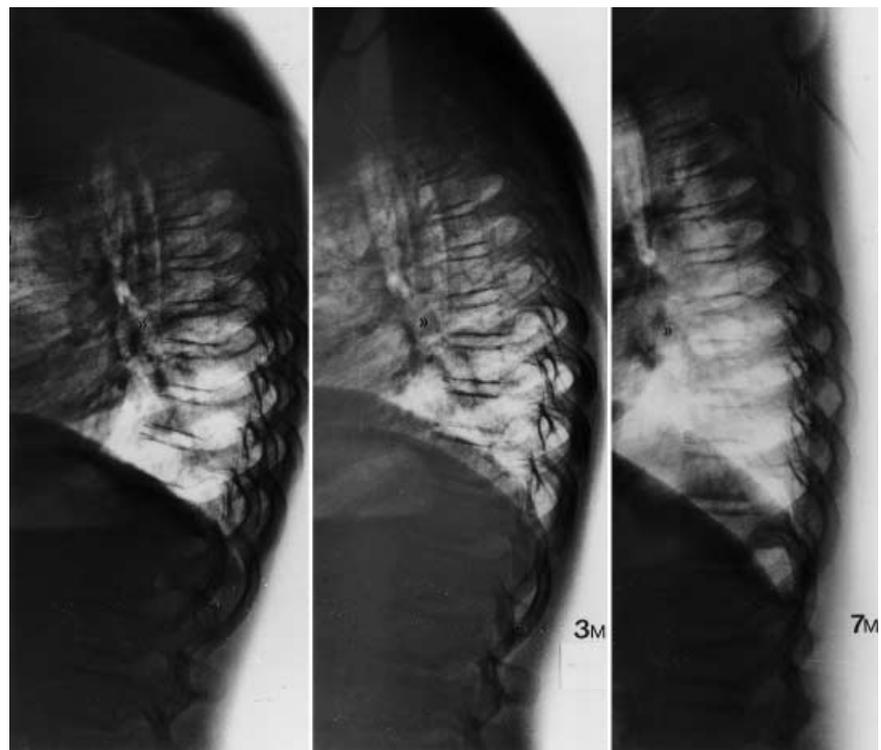


Abb. 2 ▲ 10-jähriges Mädchen: Sturz beim Schulturnen auf die Knie mit axialem Trauma. Typische leichte anteriore Kompressionsfraktur der mittleren BWS (Th 8). Folgenlose Ausheilung und Wiederaufrichtung unter 3-monatiger rein funktioneller Nachbehandlung



Abb. 3a–c ◀ **7-jähriges Mädchen: Sturz vom Pferd. Kompressionsfrakturen LWK 2 und 3 mit anteriorer und seitlicher Kompression >10°. Nach 6-monatiger Ruhigstellung im aufrichtenden Gipskorsett zeigt sich im 8-Jahresverlauf in der Sagittalebene eine vollständige Restitutio, währenddem die Spontankorrektur in der Frontalebene zufriedenstellend, aber unvollständig blieb**

ze, welcher mit 12 Jahren fusioniert und bei Persistenz „Ossiculum terminale Bergmann“ genannt wird. Die Ringapophyse an der Basis des Körpers von C2 kann bis 25 Jahre persistieren. Der Dens axis zeigt in ca. 4% als Normvariante eine Angulation nach dorsal.

Therapie. Unter Ruhigstellung in einem Minerva-Gips oder Halo-Ringfixateur ist eine knöcherne Fusion innerhalb von 3 Monaten die Regel. Indikationen zur operativen Intervention (dorsale Fusion C1/C2 oder direkte Verschraubung) können sich bei seltenen hochgradig instabilen Frakturen ergeben oder wenn eine

anatomische Reposition nur durch eine extreme Kopfhaltung zu erreichen ist [3].

Prognose. Wachstumsstörungen sind nicht zu erwarten, da die Synchondrose strukturell und funktionell nicht einer Wachstumsfuge entspricht. Heilt die Fraktur nicht, kommt es zur Denspseudarthrose. Das Os odontoideum wird als Denspseudarthrose nach einer Fraktur beim Kleinkind interpretiert.

Subaxiale Läsionen

Bei Kindern über 8 Jahren ereignen sich die meisten Halswirbelsäulenverletzungen

im unteren HWS-Bereich, in der Gruppe der unter 8-Jährigen sind Verletzungen in diesem Bereich dagegen selten.

Frakturtypen. Die häufigste Fraktur ist die einfache Kompressionsfraktur, die diagnostisch gegenüber normalen Formvarianten abgetrennt werden muss. Vor allem bei jüngeren Kindern können auch Lösungen der kaudalen Endplatte als Distractionsverletzung vorkommen. Schließlich werden auch diskoligamentäre Verletzungen beobachtet.

Diagnostik. Bei C3–C7 schließen sich die Synchondrosen zwischen dem 2. und

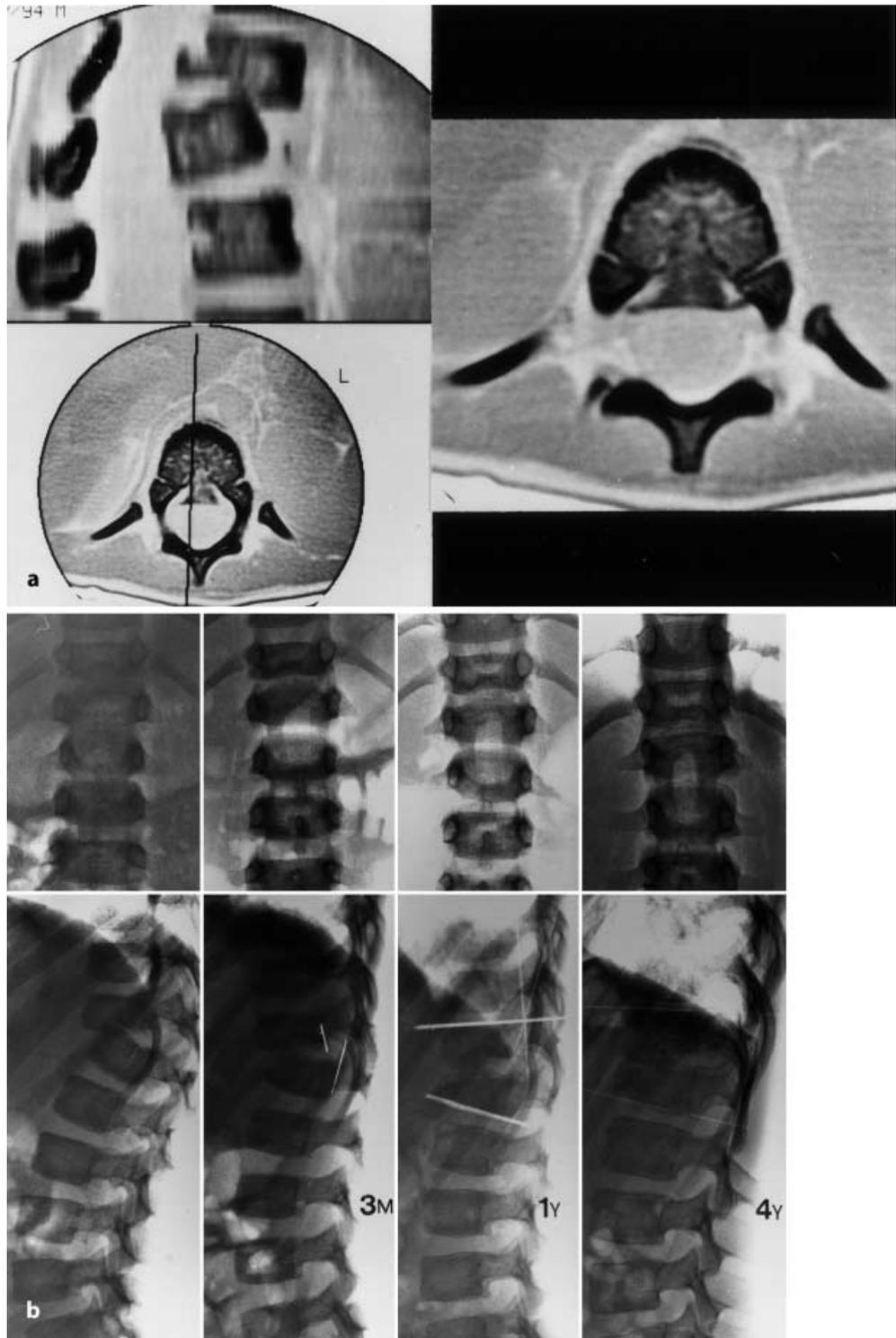


Abb. 4a,b ▶ 3-jähriger Junge: Direktes Trauma durch umstürzende Gasflasche. a Luxationsfraktur Th12/L1 mit Einengung des Spinalkanals und Paraparese. Therapie: Laminektomie L1, Spinalkanalrevision und dorsale Spondylodese Th12/L1 ohne Instrumentierung. Ruhigstellung im Gipskorsett während 3 Monaten. b 4-Jahresverlauf: Beschwerdefreier Patient mit kontinuierlicher Spontankorrektur der thorakolumbalen Kyphose

7. Lebensjahr. Die knorpeligen Wirbelkörperendplatten sind als Wachstumsfugen nicht erkennbar, da sie direkt an den Diskus angrenzen und hier eine knöchernen Epiphyse fehlt. Normale Ringapophysen können mit Abrissfragmenten verwechselt werden, ebenso wie sekundäre Ossifikationszentren an den Spitzen der Processi spinosi.

Die physiologische Hypermobilität der kindlichen Wirbelsäule verbietet es Erwachsenenormwerte bezüglich segmentaler Beweglichkeit zu übernehmen. Funktionsaufnahmen der HWS bei Kindern unter 8 Jahren mit unauffälligem lateralem Röntgenbild sind von fragwürdigem Nutzen, da auch bei normalen Wirbelsäulen Pseudosubluxationen

beobachtet werden. Für eine echte diskoligamentäre Instabilität sprechen eine Subluxation der Intervertebralgelenke um mehr als 50%, eine unisegmentale Stufenbildung der hinteren Wirbelkörperlinie, die fehlende Reposition in Extension, Processus-spinosus-Frakturen, Erweiterung des interspinösen Abstandes, Erweiterung des hinteren Band-

scheibenraumes, Verlust der Parallelität der Gelenkfacetten und im weiteren Verlauf Ossifikationen des dorsalen Ligamentkomplexes [3].

Wirbelkörperform. Vor allem der Wirbelkörper C₃, seltener C₄, kann oval, keilförmig oder mit abgerundeter oberer vorderer Ecke imponieren und so den Eindruck einer Kyphose im Segment C_{3/4} erwecken. Kompressionsfrakturen auf diesem Niveau sind extrem selten [36].

Therapie. Kompressionsfrakturen sind meistens stabile Verletzungen und können mit einem Kragen behandelt werden. Diskoligamentäre Läsionen sind instabil und können zu massiven kyphotischen Fehlstellungen führen. Sie sollen primär operativ stabilisiert werden.

Prognose. Das spontane Korrekturpotenzial von Kompressionsfrakturen ist unklar und deutlich weniger ausgeprägt als an der Brust- und Lendenwirbelsäule. Nur der Verlauf zeigt jeweils den Bedarf für spätere Aufrichteeingriffe.

Thorakale und lumbale Verletzungen

Kompressionsfrakturen

Frakturtypen. Verletzungen der Brustwirbelsäule ereignen sich meist als stabile Frakturen auf mittlerem thorakalem Niveau und sind viel häufiger als lumbale Frakturen. Die kraniale Endplatte ist doppelt so häufig involviert wie die kaudale. An der Brustwirbelsäule ereignen sich nicht selten Serienkompressionsfrakturen mit durchschnittlich 3 involvierten übereinanderstehenden Wirbeln. Berstungsfrakturen sind selten [9, 25, 30].

Therapie und Prognose. Das Ausmaß der Spontankorrektur von komprimierten Wirbelkörperanteilen hängt im Wesentlichen vom Wirbelsäulenrestwachstum und der initialen Kompression ab: Die Regenerationskraft zur Korrektur von

posttraumatischen Fehlstellungen ist vor allem bei unter 10-Jährigen so ausgeprägt, dass selbst bei über 50% Höhenminderung mit einer Aufrichtung zu rechnen ist [23, 25, 30]. Keilwirbel unter 10° können frühfunktionell mit Physiotherapie und 3-monatiger Sportkarenz behandelt werden (Abb. 2).

Ventrale Keilwirbelbildungen von mehr als 10° sollten mit einem Aufrichtekorsett behandelt werden (Abb. 3): Dieses hat bei Kindern mit einem Risserzeichen II oder kleiner nicht die akute Wirbelaufrichtung zum Ziel, sondern eine Druckentlastung der Wachstumszone, um das vordere Wirbelwachstum zu stimulieren. Dementsprechend sollte die Korsettversorgung über ein Jahr fortgeführt werden [25]. Die Kompressionsfrakturen im Adoleszentenalter sollten wie beim Erwachsenen behandelt werden. Seitliche Kompressionsfrakturen zeigen nur sehr geringe spontane Wiederaufrichtung und führen nicht selten zu einer Skoliose.

Distraktions- und Rotationsverletzungen

Diese Verletzungen sind selten und müssen wie beim Erwachsenen behandelt werden.

Therapie. Horizontale Frakturen durch den Wirbelkörper (Chance-Frakturen) können in der Regel mit einem reklinierenden Gipskorsett reponiert und zur Heilung gebracht werden [5]. Falls die Kyphosierung nicht korrigiert werden kann und mehr als 20° beträgt, ist mit einer Progression der Fehlstellung zu rechnen [7, 28]. Die übrigen Distraktionsverletzungen sowie die sehr instabilen Rotationsverletzungen müssen wie beim Erwachsenen operativ dekomprimiert und stabilisiert werden (Abb. 4).

Frakturen der Dorn- und Querfortsätze

Isolierte Frakturen von Dorn- oder Querfortsätzen sind Folge von direkten stumpfen Traumata. Obwohl sie als Frakturen harmlos sind, können sie mit bedeutenden Begleitverletzungen (Verletzungen der Pleura, Nierenläsionen, Beckenfrakturen) einhergehen, welche ausgeschlossen werden müssen [10].

Fazit für die Praxis

Wirbelsäulenverletzungen im Wachstumsalter sind selten, gehen jedoch häufiger als beim Erwachsenen mit neurologischen Störungen einher. Diese können ohne konventionell radiologisch fassbare Verletzungen vorkommen und müssen mit der MRT abgeklärt werden. Die Problematik der bildgebenden Diagnostik liegt vor allem in der Abgrenzung von Synchronrosen und Apophysen gegenüber Frakturlinien. Die Verletzungstypen entsprechen im Prinzip denjenigen der Erwachsenen, zusätzlich sehen wir Verletzungen der Endplatten (Wachstumsfuge) und der Ringapophysen. Stabile Kompressionsfrakturen werden konservativ behandelt. Bei den unter 10-jährigen Kindern ist die Wiederaufrichtung mit dem weiteren Wachstum ausgezeichnet, während Fehlstellungen in der Frontalebene nur zögerlich oder meist gar nicht remodellieren. Instabile Verletzungen werden im Prinzip wie beim Erwachsenen operativ behandelt.

Literatur

1. Abuamara S, Dacher JN, Lechevallier J (2001) Posterior arch bifocal fracture of the atlas vertebra: a variant of Jefferson fracture. *J Pediatr Orthop* 10: 201–204
2. Aufdermaur M (1974) Spinal injuries in juveniles: necropsy findings in 12 cases. *J Bone Joint Surg Br* 56: 513–519
3. Blauth M, Schmidt U (1998) Wirbelsäulenverletzungen bei Kindern. In: Tscherner H, Blauth M (Hrsg) *Unfallchirurgie Wirbelsäule*. Springer, Berlin Heidelberg New York, S 383–399
4. Carrion WV, Dormans JP, Drummond DS, Christofersen MR (1996) Circumferential growth plate fracture of the thoracolumbar spine from child abuse. *J Pediatr Orthop* 16: 210–214
5. Chance G (1948) Note on a type of flexion fracture of the spine. *Br J Radiol* 21: 452–453
6. Epstein NE, Epstein Joseph A (1991) Limbus lumbar vertebral fractures in 27 adolescents and adults. *Spine* 16: 962–966
7. Glassman SD, Johnson JR, Holt RT (1992) Seatbelt injuries in children. *J Trauma* 33: 882–886

8. Grabb PA, Pang D (1994) Magnetic resonance imaging in the evaluation of spinal cord injury without radiographic abnormality in children. *Neurosurgery* 35: 406–414
9. Horal J, Nachemson A, Scheller S (1972) Clinical and radiological long term follow-up of vertebral fractures in children. *Acta Orthop Scand* 43: 491–503
10. Jeanneret B, Holdener HJ (1992) Wirbelfrakturen und Bauchtrauma. Eine retrospektive Studie anhand von 415 dokumentierten Wirbelfrakturen. *Unfallchirurg* 95: 603–607
11. Jeanneret B (1993) Verletzungen der Wirbelsäule / Obere Halswirbelsäule: Verlaufsformen und Therapie. In: Witt, Rettig, Schlegel (Hrsg) *Orthopädie in Praxis und Klinik*, Band V/2. Thieme, Stuttgart New York
12. Journeau P, Bourcheix LM, Wagner A, Padovani JP, Pouliquen JC (2001) Obstetric dislocation of the thoracic spine: case report and review of the literature. *J Pediatr Orthop* 10: 78–80
13. Karlsson L, Lundin O, Ekström L, Hansson T, Swärd L (1998) Injuries in adolescent spine exposed to compressive load. *J Spinal Disord* 11: 501–507
14. Kokoska ER, Keller MS, Rallo MC, Weber TR (2001) Characteristics of pediatric cervical spine injuries. *J Pediatr Surg* 36: 100–105
15. Kothari P, Freeman B, Grevitt M, Kerslake R (2000) Injury to the spinal cord without radiological abnormality (SCIWORA) in adults. *J Bone Joint Surg Br* 82: 1034–1037
16. Leventhal HR (1960) Birth injuries of the spinal cord. *J Pediatr Orthop* 56: 447
17. Lundin O, Ekstrom L, Hellstrom M, Holm S, Sward L (2000) Exposure of the porcine spine to mechanical compression: differences in injury pattern between adolescents and adults. *Eur Spine J* 9: 466–471
18. Lynch JM, Meza MP, Pollack IF, Adelson PD (1996) Direct injury to the cervical spine of a child by a lap-shoulder belt resulting in quadriplegia: case report. *J Trauma* 41: 747–749
19. Magerl F et al. (1994) A comprehensive classification of thoracic and lumbar spine injuries. *Eur Spine J* 3: 184–201
20. Mikawa Y, Watanabe R, Yamano Y, Ishii K (1987) Fracture through a synchondrosis of the anterior arch of the atlas. *J Bone Joint Surg Br* 69: 483
21. McPhee IB (1981) Spinal fractures and dislocations in children and adolescents. *Spine* 6: 533–537
22. Mills JF, Dargaville PA, Coleman LT, Rosenfeld JV, Ekert PG (2001) Upper cervical spinal cord injury in neonates: the use of magnetic resonance imaging. *J Pediatr* 138: 105–108
23. Möllenhoff G, Walz M, Muhr G (1993) Korrekturverhalten nach Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule bei Kindern und Jugendlichen. *Chirurg* 64: 948–952
24. Patel JC, Tepas JJ, Molitt DL, Pieper P (2001) Pediatric cervical spine injuries: defining the disease. *J Pediatr Surg* 36: 373–376
25. Pouliquen JC, Kassis B, Glorion C, Langlais J (1997) Vertebral growth after thoracic or lumbar fracture of the spine in children. *J Pediatr Orthop* 17: 115–120
26. Powers B, Miller MD, Kramer RS, Martinez S, Gehweiler JA (1979) Traumatic anterior atlanto-occipital dislocation. *Neurosurgery* 4: 12–17
27. Przybylski GJ, Clyde BL, Fitz CR (1996) Craniocervical junction subarachnoid hemorrhage associated with atlantooccipital dislocation. *Spine* 21: 1761–1768
28. Raney EM, Bennett JT (1992) Pediatric Chance fracture. *Spine* 17: 1522–1524
29. Reid AB, Letts RM, Black GB (1990) Pediatric Chance fractures: association with intra-abdominal injuries secondary to seatbelt use. *J Trauma* 30: 384–391
30. Ruckstuhl J, Morscher E, Jani L (1976) Behandlung und Prognose von Wirbelfrakturen im Kindes- und Jugendalter. *Chirurg* 47: 458–467
31. Ruge JR, Sinson GP, McLone DG, Cerullo LJ (1988) Pediatric spinal injury: the very young. *J Neurosurg* 68: 25–30
32. Savini R, DiSilvestre M, Gargiulo G, Picci P (1991) Posterior lumbar apophyseal fractures. *Spine* 16: 1118–1123
33. Shamoun JM, Riddick L, Powell RW (1999) Atlanto-occipital subluxation/dislocation: a „survivable“ injury in children. *Am Surg* 65: 317–320
34. Suss RA, Zimmerman RD, Leeds NE (1983) Pseudospread of the atlas: false sign of Jefferson fracture in young children. *Am J Roentgenol* 140: 1079–1082
35. Swärd L, Hellström M, Jacobsson B, Karlsson L (1993) Vertebral ring apophysis injuries in athletes. *Am J Sports Med* 21: 841–845
36. Swischuk LE, Swischuk PN, John SD (1993) Wedging of C-3 in infants and children: usually a normal finding and not a fracture. *Radiology* 188: 523–526
37. Turgut M, Akpınar N, Özcan OE (1996) Spinal injuries in the pediatric age group: a review of 82 cases of spinal cord and vertebral injuries. *Eur Spine J* 5: 148–152