

M. Blauth · U. Schmidt · U. Lange · Unfallchirurgische Klinik (Direktor: Prof. Dr. H. Tscherne),  
Medizinische Hochschule Hannover

## Verletzungen der Halswirbelsäule bei Kindern\*

### Zusammenfassung

Verletzungen der Wirbelsäule sind bei Kindern extrem selten. Man kann davon ausgehen, daß sie etwa 0,2 % aller kindlichen Brüche und Verrenkungen und zwischen 1,5 und 3 % aller Wirbelsäulenläsionen ausmachen. Je jünger ein verletztes Kind, desto wahrscheinlicher liegt eine Läsion der *oberen* HWS vor. Dieser Abschnitt der Wirbelsäule ist im Vergleich zu Erwachsenen mit 50 % der HWS-Verletzungen überproportional häufig betroffen. Die meisten Unterschiede zwischen der Wirbelsäule des Erwachsenen und der des Kindes bestehen nur bis zum 10. Lebensjahr. Danach entsprechen Diagnostik, Klassifikation und Behandlung von Verletzungen weitgehend denen beim Erwachsenen. Bei Unkenntnis des normalen Aussehens und der normalen Entwicklung sind Fehlinterpretationen von Röntgenaufnahmen häufig. Typische Beispiele sind die Verwechslung von Synchondrosen mit Frakturen oder von Pseudosubluxationen des Atlas sowie des zweiten Halswirbels mit „echten“ Instabilitäten. Relevante Läsionen gehen immer auch mit eindeutigen klinischen Befunden einher. Besondere Verletzung der wachsenden Wirbelsäule sind Lösungen der Epiphysenplatten sowie „Frakturen“ der knorpeligen Zwischenzonen, der Synchondrosen.

Atlantookzipitale Dislokationen (AOD) kommen besonders oft bei Kindern vor. Nach unseren Erfahrungen mit 16 AOD schlagen wir je nach Dislokationsrichtung der Okzipitalkondylen eine Einteilung in vordere, hintere und vollständig instabile AOD vor. Bei einem Jungen unseres Krankenguts konnte die Läsion durch eine temporäre interne Stabilisierung zur Ausheilung gebracht werden. Er zeigte eine weitgehende Erholung der anfangs hochgradigen neurologischen Ausfallserscheinungen.

Verletzungen der Synchondrose des Dens axis stellen eine weitere typische Verletzung im Kindesalter dar. Vier von fünf Kindern aus dem eigenen Krankengut verunglückten bei Verkehrsunfällen. Drei saßen in Kindersitzen in Fahrtrichtung und waren mit einem 4-Punktgurt-System angeschnallt. Wir verwenden einen Halo-Ring mit Gipsweste für die konservative Behandlung. Operationsindikationen bestehen bei nicht retinierbaren sowie hochgradig instabilen Läsionen. Die operative Technik entspricht in allen Einzelheiten der beim Erwachsenen. 3 unserer 5 Kinder mit dieser Verletzung wurden erfolgreich operativ stabilisiert.

Atlantoaxiale Dislokationen (AAD) werden in translatorische und rotatorische unterteilt. Sagittale Verschiebungen des Atlas bedürfen auch bei Kindern einer Fusion zwischen C1 und C2. Rotatorische Fehlstellungen lassen sich im frischen Stadium leicht reponieren und im Halo-Fixateur ausbehandeln. Auch bei veralteten Läsionen ist nach unseren Erfahrungen bei zwei Patienten teils durch offene, teils durch geschlossene Reposition eine Ausheilung in anatomischer Stellung möglich.

Im Bereich der unteren HWS stellen neben Verletzungen mit Einengung des Spinalkanals vor allem solche mit *ligamentärer oder diskoligamentärer Beteiligung* – also Typ B- und C-Läsionen eine Operationsindikation dar. Sie heilen nämlich nach geschlossener Behandlung genauso wenig stabil aus wie bei Erwachsenen.

### Schlüsselwörter

Wirbelsäulenverletzungen bei Kindern • Entwicklung der Wirbelsäule • Diagnostik • Synchondrosen • Atlantookzipitale Dislokation • Densfrakturen bei Kindern • Atlantoaxiale Dislokation • Pseudosubluxation • Operative

Behandlung • Diskoligamentäre Instabilitäten

**W**ichtige Unterschiede zwischen der Wirbelsäule des Erwachsenen und der des Kindes bestehen nur bis zum 10. Lebensjahr. Danach hat das Achsenskelett, das sich schneller entwickelt als die Extremitäten und der Rest des Skelettsystems, seine endgültigen Proportionen weitgehend erreicht und die Synchondrosen sind verschwunden. Ausnahmen sind die Ringapophysen der Wirbelkörper, die erst am Ende der Kindheit erscheinen und etwa im Alter von 25 Jahren verknöchern, sowie die Densspitze; sie kann eine Aufhellungslinie bis zum 12. Lebensjahr zeigen. Diagnostik, Klassifikation und Behandlung von Verletzungen *jenseits des 10. Lebensjahrs* entsprechen damit weitgehend denen beim Erwachsenen. In diesem Beitrag möchten wir daher – von wenigen Ausnahmen abgesehen – nur auf Verletzungen in den *ersten zehn Lebensjahren* eingehen.

Halswirbelsäulenverletzungen können bei Kindern erhebliche diagnostische und therapeutische Probleme bereiten. Die besondere Architektur der Wirbel, Variationen der Epiphysenlinien, unvollständige Verknöcherungen und die „Hypermobilität“ der Wirbelsäule in diesem Alter sind nur einige

\* Herrn Professor H. Tscherne in Verehrung und Dankbarkeit zum 65. Geburtstag gewidmet

Prof. Dr. Michael Blauth  
Unfallchirurgische Klinik, Medizinische  
Hochschule, D-30623 Hannover

M. Blauth · U. Schmidt · U. Lange

## Injuries of the cervical spine in children

### Summary

Injuries of the spine in children rarely occur. They amount to about 0.2 % of all fractures and dislocation and to 1.5 to 3 % of all lesions of the spine. The younger an injured child is, the more likely it has sustained a lesion of the upper cervical spine. This spinal segment in comparison to adults is concerned more often and accounts for 50 % of all C-spine injuries. Important differences between the adult spine and the spine in the child disappear with the age of 10 years. Later diagnostics, classification and treatment correspond widely with the principles valid in adults. The knowledge of the normal shape and development of the spine are crucial in avoiding misinterpretations of X-ray films. Typical examples include the confusion of synchondrosis with fractures or of subluxations of the atlas and the C2/C3 segment with "true" instabilities. Relevant lesions always are accompanied by clear clinical symptoms. Specific injuries of the growing axial skeleton are lesions of the cartilaginous endplates and "fractures" of the synchondrosis.

Atlantooccipital dislocations (AOD) occur typically in children. According to our experiences with 16 AOD we propose – dependent on the direction of dislocation of the occipital condyles – a simplified classification in anterior, posterior and completely unstable AOD. In one boy in our series we treated the lesion successfully by temporary interal fixation. He presented a massive improvement of initially subtotal neurologic symptoms.

Injuries to the synchondrosis of the dens represent another typical lesion in childhood. Four out of 5 children treated in our clinic were involved as back seat passengers in head-on motor vehicle accidents. Three of them were restrained by 4 point children's seat harnesses. For conservative treatment we prefer a halo and plaster-vest for 12 weeks after closed reduction. We recommend operative treatment in cases of major dislocation with greater instability where it may be impossible to maintain alignment with halo fixation. Surgical equipment and techniques correspond in detail to those used in adults. Three of the five children mentioned have been stabilized successfully by anterior screw fixation.

Atlantoaxial dislocations (AAD) are divided into translatory and rotatory instabili-

ties. Sagittal dislocations of the atlas in children also need to be fixed by a fusion between C1 and C2. Rotatory instabilities in the acute phase are easy to reduce and are treated with a halo-fixator. According to our experiences in two delayed cases anatomical reduction is also possible after months partly by open, partly by closed means.

For the lower C-spine lesion with encroachment of the spinal canal and above all ligamentous injuries represent a clear indication for operative treatment because, similar to the adult spine, they do not become stable after close management.

### Key words

Spinal injuries in children · Synchondrosis · Atlantooccipital dislocation · Odontoid fractures in children · Atlantoaxial dislocation · Pseudosubluxation · Discoligamentous instability · Operative treatment

der möglichen Schwierigkeiten, die eine eindeutige Trennung zwischen „verletzt“ und „unverletzt“ manchmal verhindern. Dazu kommt, daß Vergleichsaufnahmen der Gegenseite nicht möglich sind und die klinische und röntgenologische Untersuchung eines verletzten Kindes durch Unruhe, mangelhafte Kommunikation und Kooperation der kleinen Patienten zusätzlich erheblich erschwert werden.

Wir möchten kurz die typischen Entwicklungsschritte der Wirbelkörper darstellen und dann auf Besonderheiten der kindlichen HWS hinweisen, die Anlaß zu Fehlinterpretationen geben können. Schließlich sollen typische Verletzungen aufgezählt und ihre Behandlung erläutert werden.

### Normale Entwicklung der kindlichen HWS

Röntgenaufnahmen kindlicher Wirbelsäulen können nur in Kenntnis des normalen Wachstums vollständig interpretiert werden. Wachstumsplatten sind normalerweise abgerundet, regelmäßig, befinden sich an bestimmter Stelle und haben eine subchondrale Skleroselinie [54]. Frakturen verlaufen dagegen unregelmäßig, ohne verdichteten Saum und oft an nicht vorhersagbaren Lokalisationen. Das Auftauchen und Verschwinden

der Epiphysen unterliegt einer großen Schwankungsbreite. Die ersten beiden Halswirbel weisen eine einzigartige Entwicklung auf, bei den restlichen fünf verläuft sie einheitlich (Abb. 1–3).

### Diagnostische Besonderheiten

Klinische und bildgebende Diagnostik unterscheiden sich bei Kindern nicht grundsätzlich. Rachesky et al. [134] fanden jedoch nur bei 1,2 % aller Röntgenaufnahmen kindlicher Halswirbelsäulen positive Befunde. Alle Patienten mit einer röntgenologisch nachgewiesenen Verletzung hatten entweder über Nackenschmerzen geklagt oder ein Schädelhirntrauma bei einem Verkehrsunfall erlitten. Jedes Kind mit einer Kopfverletzung sollte daher besonders sorgfältig auf Läsionen der Halswirbelsäule untersucht werden.

Daffner [34] wies darauf hin, daß Röntgenbilder der kindlichen Halswirbelsäule in zwei große Kategorien aufgeteilt werden können: normale und grob auffällige Befunde. Subtile röntgenologische Zeichen, die bei Erwachsenen auf eine Verletzung hindeuten können, werden bei Kindern in der Regel nicht gefunden. Er hält daher Aufnahmen im a.p.- und seitlichen Strahlengang sowie eine transorale Projektion für ausreichend. CT und MRT sollten bei Verletzungsverdacht auf den konventionellen Bildern, vor allem im Halswirbelsäulenbereich, gezielt eingesetzt werden. Bei Kindern noch normale röntgenologische Befunde können leichter zu Fehlinterpretationen Anlaß geben. Schwarz et al. [143] vermuteten, daß mehr Kinder nach einer falsch positiven Diagnose behandelt werden, als tatsächlich Läsionen vorhanden sind. Bei einer Verletzung findet man immer auch eindeutige klinische Symptome.

Genauere Kenntnisse der Skelettentwicklung und wichtiger Formvarianten sind nötig um Fehldiagnosen zu vermeiden.

Folgende anatomischen Besonderheiten können bei Kindern mit Verletzungen verwechselt werden [54]:

- Das apikale Ossifikationszentrum des Dens. Es erscheint zwischen dem 3. und 6. Monat und fusioniert mit dem Odontoid im Alter von 12 Jahren.
- Die sekundären Ossifikationszentren der Querfortsätze. Sie erscheinen

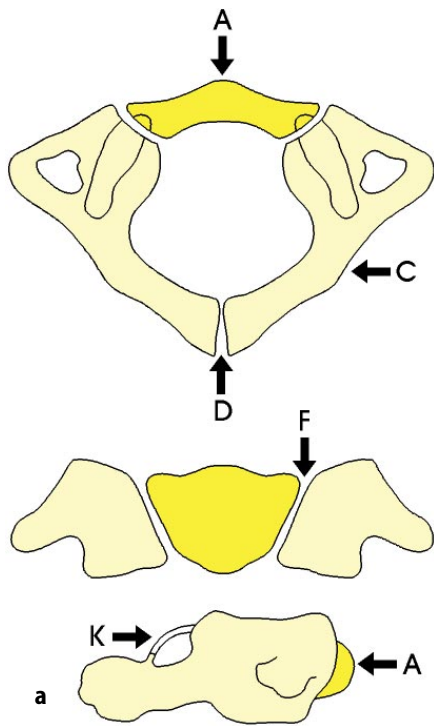
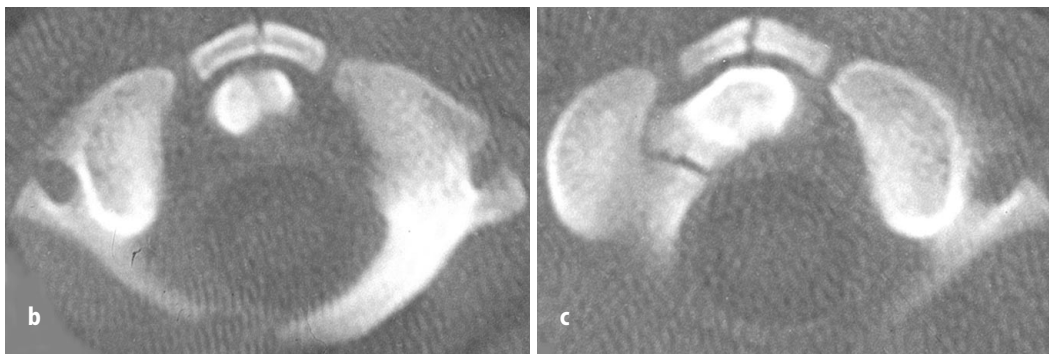


Abb. 1a-c ◀ Schematische Darstellung der Entwicklung des Atlas (a; nach [54]). Die Ringbildung des Atlas kann zahlreichen Störungen unterliegen. Eine gute Übersicht findet sich bei Töndury u. Tillmann [156]. A Der Kern des Wirbelkörpers erscheint erst im Laufe des ersten Lebensjahrs. Häufiger bilden sich 2 oder mehr paramedian gelegene Kerne (siehe b, c). Bei fehlender Entwicklung können die Wirbelbögen nach vorne wachsen und seinen Platz einnehmen. Die Osteogenese ist zwischen dem 7. und 10. Lebensjahr abgeschlossen. C Die Wirbelbögen erscheinen beiderseits in der 7. Fötalwoche. D Die Synchondrose des Dornfortsatzes verwächst um das 3. Lebensjahr. E Die neurozentralen Synchondrosen fusionieren um das 7. Lebensjahr. Sie sind auf transoralen Aufnahmen sichtbar und dürfen nicht mit Frakturen verwechselt werden. K Der Sulcus arteriae vertebralis kann unvollständig oder vollständig überbrückt werden. Man spricht dann von einem Canalis arteriae vertebralis oder einer Pontikulusbildung. Man findet diesen Befund bei 12% aller Erwachsenen. Bailey [11] macht die Verknöcherung eines Bandes dafür verantwortlich, Töndury und Tillmann [156] sprechen von einem Residuum der Segmentierung. b, c Axiales CT eines 21/2-jährigen Mädchens nach Schaukelsturz. Zusätzlich zu den neurozentralen Synchondrosen besteht eine Knorpelfuge in der Mitte des Wirbelkörpers (b, c). Der Befund darf nicht mit einer Fraktur verwechselt werden



beim Fötus und fusionieren in der Pubertät. Sekundäre Ossifikationszentren der Dornfortsätze werden in der Pubertät sichtbar und verschwinden mit 25 Jahren.

- Eine *Pseudosubluxation des Atlas nach kranial* auf einer seitlichen Extensionsaufnahme bei unvollständig ossifiziertem Dens. Cattell u. Filtzer [31] fanden, daß bei 20% der Kinder unter 8 Jahren der Atlas in Extension über der Densspitze steht. Bei Kindern zwischen 3 Monaten und 4 Jahren besteht ein „Mißverhältnis“ zwischen dem Wachstum von C1 und C2, so daß ein physiologischer Überhang von C1 über C2 vorliegt [90], die eine Hypoplasie des Zahnfortsatzes vortäuschen kann.
- Eine *Angulation des Dens*. Sie wird bei ca. 4% der Kinder auch ohne Verletzung beobachtet [160].

- Eine *persistierende Epiphysenlinie an der Basis des Dens*. Die Synchondrose kann gelegentlich bis zum 11. Lebensjahr bestehen bleiben [82] und stellt bis zum 10. Lebensjahr eine besonders vulnerable Zone dar. Die „Bruchlinie“ verläuft nahezu immer entlang der basalen Knorpelfuge.
- Ein *bis zu 4 mm vergrößerter atlantodentaler Abstand* auf Flexionsaufnahmen. Wenn klinisch Zeichen einer Verletzung vorliegen, sollte ein atlantodentaler Abstand von  $\geq 5$  mm bei Kindern als pathologisch angesehen werden. Bei Kindern wurde auf Flexionsaufnahmen eine geringfügig größerer atlantodentaler Abstand als bei Erwachsenen gefunden [31]. Locke et al. [107] maßen bei 200 gesunden Kindern einen maximalen atlantodentalen Abstand von 3,5 mm; meist lag er bei  $\leq 3$  mm. Beträgt die

Distanz über 5 mm, ist das Band sicher zerrissen. Jackson [89] fertigte bei 50 gesunden Erwachsenen und 20 Kindern Funktionsaufnahmen der Halswirbelsäule an. Bei Erwachsenen fand er zwischen voller Flexion und Extension keinen Unterschied im Abstand des posteroinferioren Randes des vorderen Atlasbogens von der Vorderfläche des Dens, bei Kindern dagegen häufig geringe „Subluxationen“ nach vorne. Ob für den größeren Abstand eine dickere Knorpelschicht oder eine ligamentäre Laxität verantwortlich ist, bleibt unbekannt.

- Physiologische Variationen des *prävertebralen Weichteilschattens* als Ausdruck eines Hämatoms. Der Weichteilschatten darf bei Kindern etwa 1/3 größer sein und mißt im Durchschnitt retropharyngeal bis zu 3,5 mm sowie retrotracheal bis

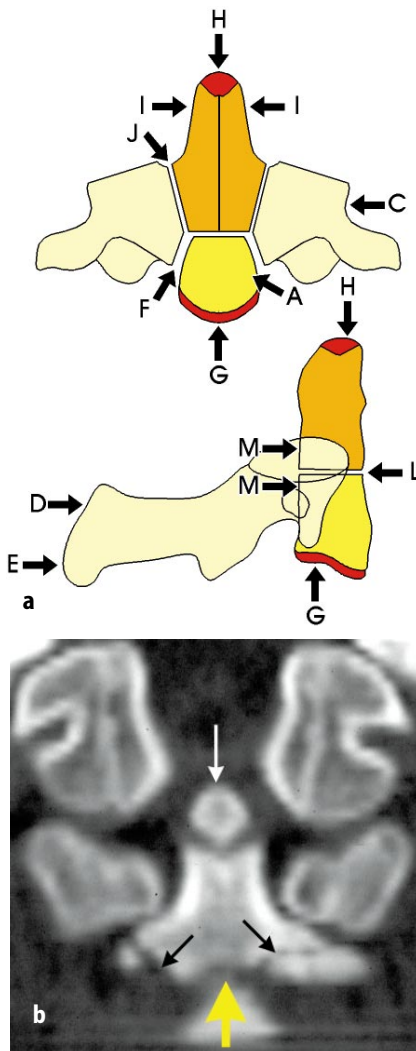


Abb. 2 a,b ◀ Schematische Darstellung der Entwicklung des Axis (nach [54]; a). A Der Körper des Axis mit einem oder zwei Knochenkernen erscheint im 7. Fötalmonat. C Die Wirbelbögen erscheinen beiderseits ebenfalls im 7. Fötalmonat. D Die Wirbelbögen verschmelzen dorsal im 2. oder 3. LJ. E Der Dornfortsatz ist zwiegespalten, manchmal findet man in jeder Spitze sekundäre Knochenzentren. F Die neurozentralen Synchondrosen fusionieren zwischen dem 3. und 6. LJ. G Der untere Epiphysenring erscheint während der Pubertät und verknöchert mit etwa 25 Jahren. H Das Ossifikationszentrum an der Spitze des Dens erscheint zwischen dem 3. und 6. LJ. I Der Dens verschmilzt synostotisch mit dem Dens axis bis zum 12. LJ. Ein Ossiculum terminale (Bergmannsches Knöchelchen) entsteht, wenn die Verknöcherung des Apex dentis mit den übrigen Anlagen des Axiszahns ausbleibt [156]. J Der Dens axis bildet sich aus zwei getrennten Knochenkernen, die im 5. Fötalmonat erscheinen und im 7. miteinander verwachsen. K, L Die Synchondrosen zwischen Odontoid und Wirbelbögen verwachsen ebenso wie die Synchondrose zwischen Odontoid und Wirbelkörper zwischen dem 3. und 6. LJ. Sie bilden im a. p.-Röntgenbild ein „H“. Bis zum 11. LJ. können sie allerdings als schmale, gelegentlich sklerosierte Linie bestehen bleiben und eine unverschobene Fraktur simulieren [31]. Coronerar Schnitt eines Computertomogramms bei einem 8-monatigen Jungen mit Zerreißung der Synchondrose des Dens axis (siehe auch Abb. 14). Der dünne weiße Pfeil zeigt auf das Ossifikationszentrum an der Densspitze, die schwarzen Pfeile weisen auf die Synchondrosen zwischen Odontoid und Wirbelbögen, der dicke gelbe Pfeil auf die zerrissene Synchondrose zwischen Dens und Wirbelkörper (b)

7,9 mm. Eine weitere diagnostische Abklärung sollte kranial ab 7 und kaudal ab 22 mm vorgenommen werden [163]. Ardran u. Kemp [9] wiesen darauf hin, daß Bewegungen des Os hyoideum beispielsweise beim Schreien sich genauso auf die Weite des retropharyngealen Raums auswirken, wie forcierte In- und Expiration.

- Die Keilform der Wirbelkörper bis zum Alter von 8 Jahren als Kompressionsfrakturen mit eingestauchter Spongiosa. Die Deckplatte der Wirbelkörper verläuft so um schräger von vorne unten nach hinten oben je jünger das Kind ist und je kranialer der Wirbelkörper liegt. Für eine Verletzung sprechen eine verstärkte keilförmige Verformung von zwei oder mehr Wirbelkörpern, eine begleitende kyphotische Fehlstellung und/oder klaffende Dornfortsätze [143].

- Die horizontale Stellung der Wirbelgelenke beim Kleinkind als Fraktur.
- Kongenitale Abnormalitäten als Verletzungsfolgen.
- Eine fehlende lordotische Krümmung der Halswirbelsäule. 16% der Kinder weisen ohne Verletzung eine segmentale, kyphotische Krümmung auf [31].
- Eine Hypermobilität zwischen C2/C3 und C3/C4 als Zeichen einer ligamentären Verletzung („Pseudosubluxation“; [31, 150]). Die vermehrte Mobilität entsteht durch eine Laxität der Bänder und durch die mehr horizontale Ausrichtung der Intervertebralgelenke und geringe Ausbildung der Processi uncinati bei kleinen Kindern [82, 150]. Sie verschwindet gewöhnlich im Alter von 8 Jahren und gibt besonders häufig zu Fehlinterpretationen Anlaß [155]. Kennzeichnend ist ein Versatz des oberen Halswirbels gegenüber dem unteren von bis zu

4 mm nach vorne in Flexionsstellung der Halswirbelsäule.

Es gibt kein einzelnes röntgenologisches Zeichen, um eine Pseudosubluxation von einer diskoligamentären Instabilität mit „echter“ traumatischer Subluxation zu unterscheiden (Abb. 4). Die „posterior cervical line“ oder spinolaminäre Linie nach Swischuk – also die Projektion der hinteren Begrenzung des Spinalkanals [153] – kann in beiden Fällen normal sein [143], ist jedoch bei dem meisten Patienten ein wichtiger „Indikator“ (Abb. 4). Je älter die Kinder sind, desto unwahrscheinlicher ist eine

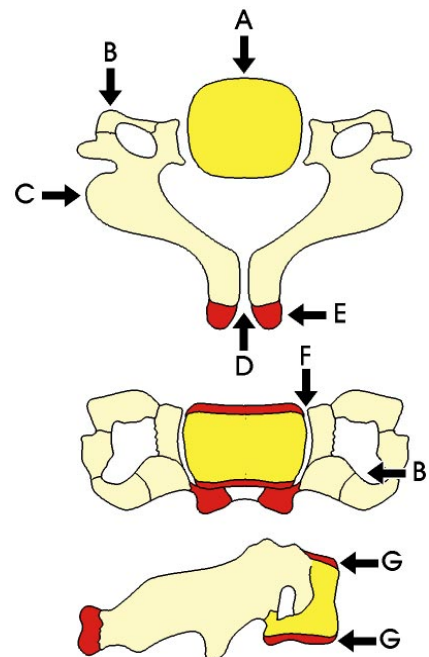


Abb. 3 ▲ Schematische Darstellung der Entwicklung der Wirbel C3 bis C7 (nach [54]). Der siebte Halswirbel unterscheidet sich durch seinen mächtigen und nicht gespaltenen Dornfortsatz von den übrigen. A Der Wirbelkörper erscheint im 5. Fötalmonat. B Der vordere Anteil des Proc. transversus kann sich vom einem eigenen Kern aus entwickeln, der im 6. Fötalmonat erscheint und sich mit dem Bogen im 6. Jahr vereint. C Die Bogenanteile erscheinen von der 7. bis zur 9. Fötalwoche. D Die Synchondrose zwischen den Dornfortsätzen vereinigt sich zwischen dem 2. und 3. LJ. E Sekundäre Zentren für zwiegespaltenen Fortsätze erscheinen während der Pubertät und verknöchern mit 25 Jahren. F Die neurozentralen Synchondrosen fusionieren zwischen dem 3. und 6. LJ. G Die obere und untere Ringapophyse werden während der Pubertät sichtbar und vereinigen sich mit den Wirbelkörpern mit etwa 25 Jahren. Sie stellen keinen Teil einer Epiphyse dar und haben mit dem Wachstum der Wirbelkörper nichts zu tun



Abb. 4a–g ◀ Pseudosubluxation (a–b) und diskoligamentäre Instabilität mit traumatischer Subluxation (c–f) C2/C3. a, b Funktionsaufnahmen eines 6-jährigen Jungen. Man beachte den weiten, V-förmigen atlantodentalen Abstand (nicht pathologisch). In Extension harmonisch und leicht nach hinten geschwungene spinolaminäre Linie (Verbindung der Pfeilspitzen) sowie „Reposition“ der Sagittaltalverschiebung der Wirbelkörper (a). In Flexion bildet die spinolaminäre Linie eine Gerade, die Wirbelkörper weisen eine nach kaudal abnehmende Stufenbildung auf. Kein wesentlicher lokaler klinischer Befund. Damit handelt es sich um eine Pseudosubluxation ohne Krankheitswert. c Röntgenbilder eines 13-jährigen. Erhebliche Druckschmerzhaftigkeit im Nackenbereich, schmerzhaft eingeschränkte Beweglichkeit. In Extension „Steilstellung“ der spinolaminären Linie, keine Reposition der Wirbelgelenke, die sich zu weniger als 50 % überlagern. Deutliche Knickbildung und segmentale Sagittalverschiebung C2/C3. d Zunächst konservative Behandlung im Minerva-Gipsverband. Eine vollständige Reposition gelang nicht. e Nach 4 Monaten Ossifikationen im Bereich der dorsalen Weichteile zwischen C2 und C3 (Pfeile) als Ausdruck der ligamentären Verletzung. Zunahme der Fehlstellung. Die hintere Begrenzung des Spinalkanals (spinolaminäre Linie) verläuft jetzt S-förmig. f Ventrale interkorporelle Spondylodese C2/C3 nach subtotaler Reposition. g Nachuntersuchung 8 Jahre später. Beschwerdefreier Patient

Pseudosubluxation. Folgende Zeichen sprechen für eine echte, ligamentäre Läsion:

- Eine nicht harmonisch verlaufende *posterior cervical line*. In Flexion des Kopfes soll die Verbindung der hinteren Spinalkanalbegrenzung mindestens eine Gerade bilden, in Neutral- und Reklinationsstellung eine leicht nach hinten geschwungene Linie. Pseudosubluxationen verschwinden regelmäßig bei Rückneigung der HWS.
- Entstehung durch ein heftiges Trauma.
- Druckschmerzen, Muskelspasmen und Bewegungseinschränkung.
- Abdeckung der Intervertebralgelenke von über 50 % und deutliche, auf ein Segment beschränkte Stufenbildungen der hinteren Wirbelkörperlinie; Verlust der Parallelität der Gelenkfacetten.
- Die Läsion läßt sich in Extension der Halswirbelsäule nicht reponieren.
- Frakturen der Dornfortsatzspitzen sowie eine Erweiterung des interspinösen Abstandes. Der Abstand zwischen zwei Dornfortsätzen auf der

a. p.-Aufnahme kann bei Kindern bis zu  $1\frac{1}{2}$  mal so groß sein wie zwischen benachbarten unverletzten Segmenten und ist ein verlässlicher Indikator für Instabilitäten [128].

- Ossifikationen des dorsalen Ligamentkomplexes im Verlauf (Abb. 4).
- Die Ausbildung einer kompensatorischen Lordose unterhalb der Läsion.
- Erweiterung des Bandscheibenraumes im hinteren Anteil [128].

### Epidemiologie

Verletzungen der Wirbelsäule kommen im Wachstumsalter sehr selten vor. Schwarz et al. [143] bezeichneten sie als „Rarität“. Sie berichteten über 30 Kinder mit Halswirbelsäulenverletzungen aus einem Gesamtkollektiv von 4,5 Mio. Verletzten österreichischer Unfallkrankenhäuser (1965–1990). Henrys et al. [82] fanden bei 600 Halswirbelsäulenverletzten nur 2 % Kinder, Jonasch und Bertel [93] bei 260 000 verletzten Kindern aus den Jahren 1966–1976 nur 31 Läsionen der Halswirbelsäule. Gelehrter [64] analysierte 836 Wirbelkörperbrüche aus dem Krankengut des Unfallkrankenhauses Graz (1940–1956) und

fand 21 Patienten unterhalb des 18. Lebensjahres (2,5 %). Nur 6 Kinder waren weniger als 14 Jahre alt (0,7 %) während 15 Jugendliche zwischen 15 und 18 Jahre zählten. Man kann also nach übereinstimmenden Angaben des Schrifttums davon ausgehen, daß Wirbelsäulenverletzungen im Kindesalter etwa 0,2 % aller kindlichen Brüche und Verrenkungen und zwischen 1,5 und 3,5 % aller Wirbelsäulenläsionen ausmachen [13]. Entsprechend gering sind Erfahrungen der meisten Unfallchirurgen mit diesen Läsionen; sie führen nicht selten zu einer therapeutischen Unsicherheit.

Angaben über den relativen Anteil von Verletzungen der Halswirbelsäule schwanken zwischen 29 % und 76 % [6, 23, 74, 87, 112, 141]. Hamilton et al. [76] veröffentlichen eine Serie mit 174 kindlichen Wirbelsäulenverletzungen. Danach war die Halswirbelsäule am häufigsten betroffen, gefolgt von Brust- und Lendenwirbelsäule.

Regelmäßig fanden die verschiedenen Autoren einen Verletzungsschwerpunkt im Bereich der oberen Halswirbelsäule. Schwarz et al. [143] nennen einen Anteil von 50 % im Gegensatz zu 16 % bei Erwachsenen. Der überpropor-



Abb. 5 ▲ Ausriß des Wirbelkörpers C2 bei einem 3-jährigen Jungen. Beachte das Größenverhältnis zwischen Schädel und HWS. Die Verletzung wurde nicht überlebt

tional große Kopf, schwächere Nackenmuskeln und eine größere Bandlaxität im Bereich der oberen Segmente könnten dafür verantwortlich sein (Abb. 5; [83]). Je jünger ein Kind ist, desto wahrscheinlicher ist eine Verletzung der oberen Halswirbelsäule.

Etwa zwei Drittel der verletzten Kinder sind nach übereinstimmenden Angaben Jungen [6, 85, 86, 103, 141]. Für diese Tatsache wird vor allem das Freizeitverhalten verantwortlich gemacht [64]. Die Häufigkeit kompletter und inkompletter Querschnittsyndrome schwankt zwischen 14 % und 28 % [112, 131]. Vor allem Verletzungen mit ligamentärer Beteiligung weisen häufig neurologische Ausfallserscheinungen auf. Je nach Querschnittszentrum machen Kinder zwischen 1,2 % und 13 % aller Patienten mit Rückenmarkläsionen [99, 113, 141]. Signifikante Unterschiede in der Erholungsfähigkeit des kindlichen Rückenmarks im Vergleich zum erwachsenen wurden nicht beschrieben.

Bei 3–5 Jahre alten Kindern stehen Stürze und Verkehrsunfälle an der Spitze der Unfallursachen, Sportverletzungen und Verkehrsunfälle in der Altersgruppe zwischen 6 und 15 Jahren [76, 82].

## Besondere Verletzungen

Für das wachsende Skelett sind eine Reihe von Verletzungen typisch und einzigartig. Viele andere Läsionen der kindlichen HWS können wie bei Erwachsenen eingeteilt und behandelt werden; auf sie wollen wir weiter unten eingehen.

### Verletzungen mit Beteiligung der Wachstumsfugen

An der Halswirbelsäule können zwei Formen unterschieden werden:

- Erstens die komplette Lösung der unteren Epiphysenplatte in der dem Wirbelkörper zugewandten Wachstumszone (Abb. 6). Die Verletzung entspricht einer Salter-Harris Typ I-Läsion. Die obere Endplatte ist durch die Proc. uncinati besser geschützt und seltener betroffen [10, 100, 146]. Die Verletzung kommt an der unteren Hals- und der oberen Brustwirbelsäule vor. Die knorpeligen Scheiben stellen sich im Kleinkindesalter röntgenologisch nicht dar; deshalb werden die Verletzungen möglicherweise häufiger übersehen. Das Wirbelkörperwachstum kann beeinträchtigt werden [121].
- Zweitens ein Abbruch der vorderen unteren Wirbelkörperkante im Sinne einer Aitken II oder Salter-Harris Typ III-Verletzung. Die Läsion kommt überwiegend bei Adoleszenten vor, heilt problemlos und zieht keine Wachstumsstörungen nach sich. Im Zuge der knöchernen Heilung kann durch das abgehobene Periost ein Spondylophyt entstehen [98].

### „Frakturen“ knorpeliger Zwischenzonen

Lösungen knorpeliger Bereiche, der sogenannten Synchronosen, sind vor allem für den zweiten Halswirbel typisch und werden dort abgehandelt. Synchronosen stellen keine Wachstumszonen dar, sondern sind durch ein diskusartiges Gewebe gekennzeichnet.

### SCIWORA-Syndrom

Eine „Spinal cord injury without radiographic abnormalities“ (SCIWORA) kommt besonders häufig bei Kindern

vor. Die Verletzung ist durch ein neurologisches Defizit ohne röntgenologische Kennzeichen einer Fraktur oder Instabilität gekennzeichnet [125]. Bei Kindern unterhalb von 8 Jahren liegt das neurologische Niveau am häufigsten im Bereich der oberen Halswirbelsäule [84, 125], bei Jugendlichen und Erwachsenen im Bereich der unteren Hals- und der thorakolumbalen Wirbelsäule. Das Syndrom macht zwischen 20 % und 66 % aller Rückenmarkläsionen bei Kindern aus [8, 76, 125, 141]. Nach einer Literaturübersicht über 65 Patienten mit isoliertem SCIWORA-Syndrom war in 46 % die Hals-, 27 % die obere Brust-, 20 % die untere Brust- und 7 % die Lendenwirbelsäule betroffen [23].

An ein SCIWORA-Syndrom muß man bei verunglückten Kindern denken, die Symptome einer Myelopathie zeigen. Konventionelle Röntgenaufnahmen, Funktionsuntersuchung, computer- und kernspintomografische Untersuchungen ergeben keinen Hinweis auf knöcherne oder ligamentäre Verletzungen, wohl aber auf posttraumatische Veränderungen des Myelon. Kinder jeden Alters können betroffen sein; je jünger ein Patient ist, desto ausgeprägter



Abb. 6 ▲ Zerreißung des Segments C2/C3 mit Abriß der Epiphysenplatte C2 bei einem 9-jährigen Jungen mit kompletter hoher Querschnittläsion. Er hatte zusätzlich eine vordere Luxation L1/L2 erlitten. Die Epiphysenplatten verknöchern erst ab etwa dem 8–10 Lebensjahr. Entsprechende Verletzungen bei kleineren Kindern können daher leicht übersehen werden

fallen die neurologischen Störungen aus [125]. Das SCIWORA-Syndrom kann auch verzögert, teilweise erst nach einigen Tagen auftreten. Bei diesen Kindern stellt sich oft nachträglich ein flüchtiges, bei der ersten Untersuchung übersehenes, neurologisches Defizit heraus. Bei den nach Hause entlassenen Kindern führte dann ein geringes, neues Trauma zu einem SCIWORA-Syndrom [1, 30, 125].

Eine mögliche Ursache ist die unterschiedliche Elastizität von Rückenmark und osteoligamentärer Wirbelsäule im Kindesalter: Leventhal zeigte, daß die kindliche Wirbelsäule bis zu 5 cm ohne Zerreißung ligamentärer Strukturen gedehnt werden kann [105]. Andere denkbare Gründe sind Ischämie und Infarkt des Rückenmarks und spontan reponierte „Frakturen“ der Wachstumsplatten der Wirbelkörper.

Die neurologischen Symptome des SCIWORA-Syndroms können von geringgradigen, flüchtigen Ausfällen bis zu kompletten, bleibenden Querschnittläsionen reichen.

### Pathologische Frakturen

Wirbelfrakturen nach einem minimalen Trauma sind verdächtig. Eosinophile Granulome, Metastasen eines Neuroblastoms, aneurysmatische Knochenzysten, ein Osteoblastom und das sehr seltene Ewing-Sarkom kommen als Ursache ebenso in Frage wie systemische Erkrankungen [164].

### Syndrom des geschlagenen Kindes

Cullen [33] und Swischuk [152] berichten über zusammen 12 Kinder im Alter von 2 bis 24 Monaten. 11 der 12 Frakturen betrafen T11 bis L3. Es handelte sich um Kompressionsfrakturen, Subluxationen und Luxationsfrakturen. Die Tatsache, daß ein kleines Kind neurologisch intakt ist, reicht nach Ansicht der Autoren bei Höhenminderung eines Wirbelkörpers nicht aus, um den Verdacht auf ein *battered child syndrom* fallen zu lassen. Auch die Scheuermann'sche Erkrankung kann differentialdiagnostisch Probleme bereiten. Im Zweifelsfall lassen sich frische, traumatische Veränderungen am besten im MRT nachweisen.

## Verletzungen der oberen HWS

Bei Kindern unter 8 Jahren wird durch den relativ großen Kopf in Rückenlage eine Flexion der Halswirbelsäule bewirkt, die zu Verschiebungen instabiler Läsionen führen kann. Eine entsprechende Unterstützung des Thorax oder ein abgesenktes Kopfteil sind während des Transports und der Diagnostik daher empfehlenswert [83].

### Frakturen der Okzipitalkondylen

Frakturen der Okzipitalkondylen gelten bei Kindern als extrem selten. Stroobants et al. [148] sahen eine solche Verletzung bei einem 12-jährigen Mädchen mit gleichzeitiger Atlasberstungsfraktur und fanden in der Literatur eine weitere Beschreibung. Bloom et al. [22] untersuchten 21 Kinder und Jugendlichen nach kraniozervikalen Rasanztraumen prospektiv mit dünn-schichtigen CT-Schnitten. Sie fanden fünf Brüche der Okzipitalkondylen bei vier Patienten, zweimal mit Läsion der Ligg. alaria. Ähnlich wie bei Erwachsenen scheinen diese Verletzungen also bei entsprechendem Unfallmechanismus und erweiterter Diagnostik häufiger gefunden zu werden, als bisher angenommen [18].

Die Therapie wird von den Zusatzverletzungen bestimmt. *Isolierte* Frakturen der Okzipitalkondylen *ohne Instabilitätszeichen* im Segment Co/C1 lassen sich konservativ mit einer Zervikalstütze oder im Halo-Fixateur behandeln. Bei Frakturen mit atlantookzipitaler Instabilität richtet sich die Therapie nach dem Ausmaß der Instabilität. Die Verletzung kann konservativ behandelt werden, wenn sich das Repositionsergebnis im Halo-Fixateur retinieren läßt. Anfangs sind dazu Röntgenkontrollen in kurzen Zeitabständen erforderlich. Instabile Verletzungen, die man nicht reponieren oder retinieren kann, bedürfen einer operativen, okzipitozervikalen Stabilisierung.

### Atlantookzipitale Dislokation (AOD)

Atlantookzipitale Dislokationen kommen dagegen überdurchschnittlich oft bei Kindern und Jugendlichen sowie bei angefahrenen, sogenannten „äußeren“ Verkehrsteilnehmern vor [26, 96]. Die meisten Verletzten sind entweder

sofort tot oder überleben das Unfallereignis nur wenige Stunden [4, 27, 32, 37, 65]. Je nach Ausmaß und Art der ligamentären Läsionen gibt es unterschiedlich ausgeprägte Instabilitätsgrade, von einer globalen Verschieblichkeit in allen Richtungen bis zu wenig dislozierten Formen.

Nach der Dislokationsrichtung des Kopfes gegenüber der Halswirbelsäule auf der seitlichen Röntgenaufnahme unterscheidet man nach Traynelis et al. [157] 3 Typen. Die *ventrale Dislokation* ist die häufigste Luxationsform; sie ist entweder nur in sagittaler (Typ Ia) oder gleichzeitig auch in axialer Richtung (Typ Ib) instabil [37, 41, 50, 62, 65, 81]. Wieweit die Prognose der Verletzung vom Ausmaß der Instabilität bestimmt wird, ist nicht bekannt. Die *dorsale* Luxation (Typ II) wurde nur vereinzelt beschrieben [24, 47, 53]. Die *axiale* Dislokation (Typ III) ist als instabilste Form immer mit einer globalen Instabilität oder vollständigen Separation des Kopfes von der Halswirbelsäule verbunden.

Die Einteilung stützt sich jedoch auf Röntgenaufnahmen, die immer nur einen *momentanen Zustand* beschreiben können und stark von der Lagerung der kleinen Patienten abhängen. So kann eine AOD zunächst als „rein“ axiale Form erscheinen, sich aber beispielsweise bei leichter axialer Stauchung als auch in vorderer Richtung instabil erweisen (Abb. 9.). Funktionsuntersuchungen unserer Patienten unter Bildwandlerkontrolle haben gezeigt, daß es offensichtlich AOD mit globaler Instabilität in alle Richtungen und solche mit bevorzugter Dislokationsrichtung gibt.

Wir schlagen deshalb folgende Einteilung vor:

- Typ I Vordere AOD. Bei diesen Verletzungen ist eine (Sub-)Luxation der Okzipitalkondylen nach dorsal nicht möglich. Eine axiale Instabilität besteht sehr häufig zusätzlich.
- Typ II Hintere AOD. Hier sind die atlantookzipitalen Gelenke nach ventral stabil.
- Typ III Vollständige, globale Instabilität in allen Richtungen des Raumes.

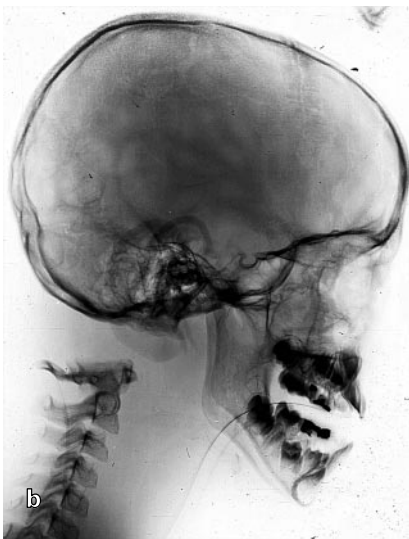
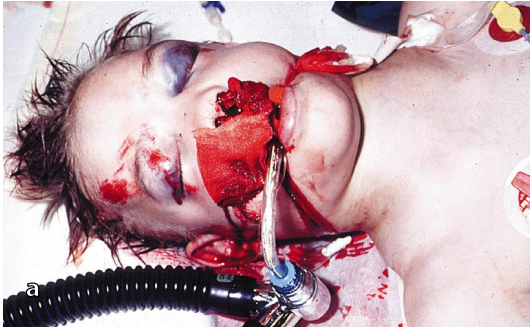


Abb. 7 a,b ◀ **7-jähriger Junge nach Verkehrsunfall. Massive Schwellung der Weichteile von Gesicht und Hals (a). Röntgenologisch vollständige vordere atlantookzipitale Dislokation (b). Tod 3 Stunden nach dem Unfall**

Traumatische AOD sind typischerweise von ausgeprägten *Weichteilschwellungen im Kopf- und Halsbereich* begleitet (Abb. 7; [16]). Die röntgenologische Diagnostik bereitet in diesen Fällen keine Probleme. Weniger ausgeprägte Dislokationen können dagegen anfangs leichter übersehen werden [41, 92, 102, 132]. Hirnstammsymptome deuten auf eine AOD hin. Bei kardiopulmonal instabilen Patienten mit entsprechendem Unfallmechanismus sollte daher bereits an der Unfallstelle an eine solche Verletzung gedacht werden. Heute erreichen mehr Patienten als früher die Klinik durch eine verbesserte Erstbehandlung. Hier ist es besonders wichtig, die Instabilität schnell zu diagnostizieren, um weitere Schäden durch ungezielte Manipulationen zu vermeiden. Bei Überlebenden kommen alle Formen neurologischer Ausfälle vor. Häufig findet man die Kombination mit einem Schädelhirntrauma. *Abrißfrakturen* an den Okzipitalkondylen (s. o.) oder der Densspitze gelten ebenso als indirekte Hinweise auf eine AOD wie ein *retropharyngeales Hämatom*.

Zur Sicherung der *röntgenologischen Diagnose* wird besonders die Methode nach Harris empfohlen [34, 80, 81]. Sie wird nicht durch eine Flexions- oder Extensionsstellung beeinflusst und ist bei Erwachsenen und Kindern gleichermaßen anwendbar: Die hintere Wirbelkörperlinie von C2 wird nach kranial verlängert und darf vom Basion nicht weniger als 6 mm und nicht mehr als 12 mm entfernt sein (Abb. 8.). Die Spitze des Dens darf ebenfalls nicht mehr als 12 mm vom Basion entfernt sein. Bulas et al. [28] fanden bei 110 Röntgenaufnahmen normaler kindlicher Halswirbelsäulen im seitlichen Strahlengang einen durchschnittlichen Abstand von 8,3 mm. Bei 11 Kindern mit AOD betrug die Distanz immer mehr als 14 mm, durchschnittlich 17 mm. 5 Kinder überlebten mit geringen oder keinen neurologischen Ausfallerscheinungen. In Zweifelsfällen sind eine Funktionsuntersuchung unter Durchleuchtung sowie ein Spiral-CT mit multiplanaren Rekonstruktionen unumgänglich. Zweidimensionale Rekonstruktionen in der sagittalen und koronaren Ebene stellen die sicherste

Möglichkeit dar, auch geringe Fehlstellungen der Gelenkpartner seitengetreunt darzustellen [66]. Auch 3-D-Rekonstruktionen bilden eine wertvolle Hilfe zum Verständnis dieser teilweise komplexen Läsionen.

Bundschuh et al. [29] wiesen auf die Bedeutung der MRT in der Akutdiagnostik von Bandrupturen und begleitenden Hämatomen und Ödemen hin. Sie halten die MRT für die am besten geeignete Untersuchungsmethode, da zusätzlich auch Veränderung der Medulla oblongata nachgewiesen werden können.

Nach Sicherung der vitalen Funktionen muß eine AOD so schnell wie möglich ohne Extension (!) reponiert und mit einem Halo-Fixateur ruhiggestellt werden [115, 124]. Allein diese Maßnahme kann schon zu einer schlagartigen Verbesserung der neurologischen Ausfälle führen. Die obere Halswirbelsäule sollte dabei auch nicht komprimiert werden, da dies die Dislokation vergrößern würde. Eine engmaschige Kontrolle des erreichten Ergebnisses mit entsprechender Nachkorrektur bei Bedarf verhindert unangenehme Überraschungen. Öfter sind die Verletzungen so instabil, daß eine vollständige Retention im Halo-Fixateur gar nicht möglich ist; [14, 50]). Auch wenn im Halo-Fixateur nicht immer anatomisch eingerichtet werden kann, verhindert er oft grobe Dislokationen. Wird die Verletzung überlebt, richtet sich die weitere Therapie in jedem Falle nach dem Ausmaß der Instabilität.

Eine *konservative Behandlung* empfiehlt sich besonders bei Kindern mit gering instabilen Dislokationen [2, 92, 166]. Hintere Luxationen scheinen eine bessere Prognose als vordere zu besitzen und sich besser für eine konservative Behandlung zu eignen; Ruhigstellungszeiten von bis zu 60 Tagen wurden angegeben [47, 139]. Es liegen aber auch Berichte über Fehlschläge nach konservativen Behandlungsversuchen vor [62, 65, 123]. Engmaschige Röntgenkontrollen sind ebenso selbstverständlich wie erneute Funktionsaufnahmen nach Abschluß der Ruhigstellung zum Ausschluß einer verbliebenen Instabilität.

Typ III-Verletzungen sowie alle nicht retinierbaren AOD werden von dorsal so kurzstreckig wie möglich stabilisiert [14, 32, 37, 50, 60, 88, 124, 126, 138, 157, 166, 167]. Geeignete Implantate



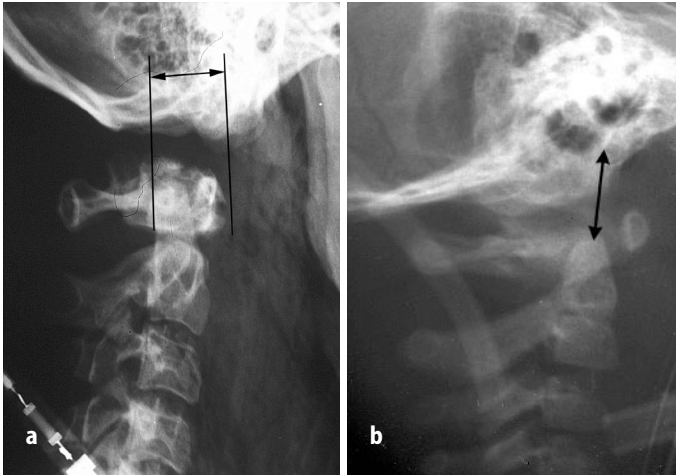


Abb. 8 a,b ▲ Röntgenologische Parameter zum Nachweis einer AOD. a Methode nach HARRIS [81]: Einzeichnen der Verlängerung der hinteren Wirbelkörperlinie C2. Das Basion (vordere Begrenzung des Foramen magnum in der seitlichen Ansicht) darf von dieser Linie nicht weniger als 6 und nicht mehr als 12 mm entfernt sein. b Die Spitze des Dens darf ebenfalls nicht mehr als 12 mm vom Basion entfernt sein

sind gebogene Rekonstruktionsplatten [142], die Y-Platte nach Grob [69, 70] oder der CerviFix® nach Jeanneret [91]. Die intraoperative Lagerung muß sowohl die Verletzung selbst als auch eine neutrale Stellung des Kopfes gegenüber dem Rumpf berücksichtigen. Wir verwenden dafür ein spezielles Haltegerät in Verbindung mit dem Halo-Ring [17]. Die Operation wird in der Regel mit einer transartikulären Verschraubung C1/C2 nach Magerl [108] sowie einer Knochen transplantation zur endgültigen Fusion kombiniert.

Nach einer temporären Stabilisierung des okzipitozervikalen Übergangs mit einer Y-Platte ohne knöchernen Fusion kam es bei einem eigenen Patienten zur stabilen Ausheilung der kapsuloligamentären Läsion im Segment Co/C1 (Abb. 9.).

Immer häufiger werden in den letzten Jahren Überlebende einer AOD beschrieben [78, 120]. In dieser Gruppe sind Kinder dreimal häufiger vertreten als Erwachsene [157]. Dabei kann es zu einer erstaunlich weitgehenden Rückbildung der neurologischen Ausfälle kommen (Abb. 9; [37, 50, 60, 78, 101, 123, 166]). Traynelis et al. [157] fanden im Schrifttum bei 9 von 16 Überlebenden keine oder nur noch unbedeutende residuale neurologische Störungen. Lee et al. [101] diskutierten vaskuläre Ursachen für die vorübergehende Querschnittssymptomatik und wiesen bei drei Überlebenden ohne direktes Trau-

ma der Medulla oblongata unterschiedliche Gefäßläsionen nach.

Im eigenen Krankengut konnten wir in den letzten 20 Jahren unter 16 noch in das Krankenhaus eingelieferten Kindern mit einer AOD nur einen überlebenden Jungen behandeln.

### Atlasfrakturen

Berstungsbrüche des ersten Halswirbels werden auch bei Kindern beobachtet. Die Fraktur verläuft dann durch die Synchondrose [114]. Roult und Green [137] sowie Marlin [110] beschrieben Jefferson-Frakturen bei 2-jährigen Kindern, die durch Nackenschmerzen und eine Tortikollis aufgefallen war. Richards beobachtete bei drei Kindern mit Frakturen des Atlas und Axis die gleichen Symptome. Zusätzlich lagen neurologische Ausfälle vor. Alle Frakturen waren stabil und wurden konservativ behandelt [135].

Die *Synchondrose des Atlas* kann auf der transoralen Aufnahme mit einer Fraktur verwechselt werden. Suss et al. prägen den Begriff „pseudospread“ des Atlas, nachdem sie bei den meisten Kindern zwischen 3 Monaten und 4 Jahren ein seitliches „Überhängen“ der Gelenkmasse beobachtet hatten [151]. Die Computertomografie wies einen intakten Ring nach.

### Densfrakturen

Verletzungen der Synchondrosen des Dens axis stellen eine seltene, aber typische Verletzung im Kleinkindesalter dar; ihre Diagnose bereitet in der Regel keine Schwierigkeiten. Beim überwiegenden Teil der kleinen Patienten verschieben sich Atlas und Dens in der Synchondrose nach *ventral*, das Röntgenbild erinnert dann an eine dislozierte Typ II-Fraktur beim Erwachsenen. Auch die beiden Synchondrosen an der Verbindung zwischen Axiskörper und -bogen können gesprengt werden (Abb. 13). Ihre Verletzung kann nur im Computertomogramm sichtbar gemacht werden [159]. Weiterhin sind Frakturverläufe möglich, die in den Wirbelkörper des Axis hineinziehen (Abb. 10). Begleitende Verletzungen des Rückenmarkes kommen selten und nur in Zusammenhang mit einem Schädel-Hirn-Trauma vor.

Vier von fünf Kindern aus dem eigenen Krankengut verunglückten bei Verkehrsunfällen. Drei waren vorschriftsmäßig mit einem 4-Punktgurt-System in Fahrtrichtung angeschnallt und saßen in handelsüblichen Kindersitzen. Mit Dummy-Versuchen wurde die Unfallsituation von der Verkehrsunfallforschung der Medizinischen Hochschule Hannover analysiert. Danach entstehen bei einer Frontalkollision mit einer Geschwindigkeitsänderung von  $\Delta v = 40$  km/h Scherkräfte von 600 N, die eine Vorverlagerung des kindlichen Kopfes von bis zu 650 mm bewirken können [20].

Wir fanden im Schrifttum Berichte über 75 Densfrakturen bei Kindern bis zum 8. Lebensjahr [7, 12, 15, 38, 39, 51, 61, 72, 86, 95, 118, 133, 136, 143–145, 147, 154, 159]. Die überwiegende Mehrzahl wurde *konservativ* behandelt (Abb. 10). Eine Extensionsbehandlung – auch in der Anfangsphase – ist unnötig und führt auch bei geringen Gewichten leicht zu einer Überdistraction der Synchondrose (Abb. 11; [5]). Die mehrwöchige Behandlung eines Kleinkindes im Streckverband erscheint – auch aus psychischen und pflegerischen Gründen – als problematisch.

Wir bevorzugen daher folgendes Vorgehen: *Anlage eines Halo-Ringes in einer kurzen Narkose*. Bei kleinen Kindern, die einen Halo-Fixateur über mehr als 4 Wochen tragen mußten,



Abb. 9a–o ◀ 8-jähriger Junge mit ventraler AOD (Typ I) nach einem PKW-Unfall. Zunächst Lähmung aller 4 Extremitäten sowie der Atmung. a Auswärts angefertigte Röntgenaufnahme des Schädels in seitlicher Projektion durch maximale Rotation des Kopfes und nicht mit Hilfe einer angestellten Kassette. Besonders bei Verletzungen der oberen HWS gefährliche Technik! b Auf der seitlichen Aufnahme erscheint die Verletzung zunächst als axiale Instabilität. c Beim Versuch, die Läsion im Halo-Fixateur mit leichter axialer Kompression zu retinieren, führt zu einer verstärkten Luxation. Man beachte auch den stark erweiterten Abstand zwischen Atlasbogen und Dornfortsatz C2. d, e 3D-Darstellung nach Haloanlage. f Operative Stabilisierung mit Y-Platte und transartikulärer Verschraubung C1/C2 ohne knöcherne Fusion. g Lagerung mit Hilfe unseres Haltegeräts. h–i 9 Monate später Implantatentfernung. Die CT-Kontrolle zeigt zunächst ebenso wie eine Funktionsuntersuchung in Narkose korrekte Verhältnisse, besonders des okzipitovervikalen Übergangs. k, l 4 Tage später klagte der Junge über erhebliche Nackenschmerzen bei schmerzhaft aufgehobener Beweglichkeit der HWS. Eine erneute Untersuchung wies eine nun bestehende sagittale atlantoaxiale Instabilität nach. Korrekte Lage der Schraubenkanäle in Atlas und Axis. m Transartikuläre Verschraubung C1/C2 unter Benutzung der alten Schraubenkanäle mit Fusion. n, o Weitgehende Rückbildung der neurologischen Ausfallerscheinungen bis auf eine Halbseitensymptomatik links

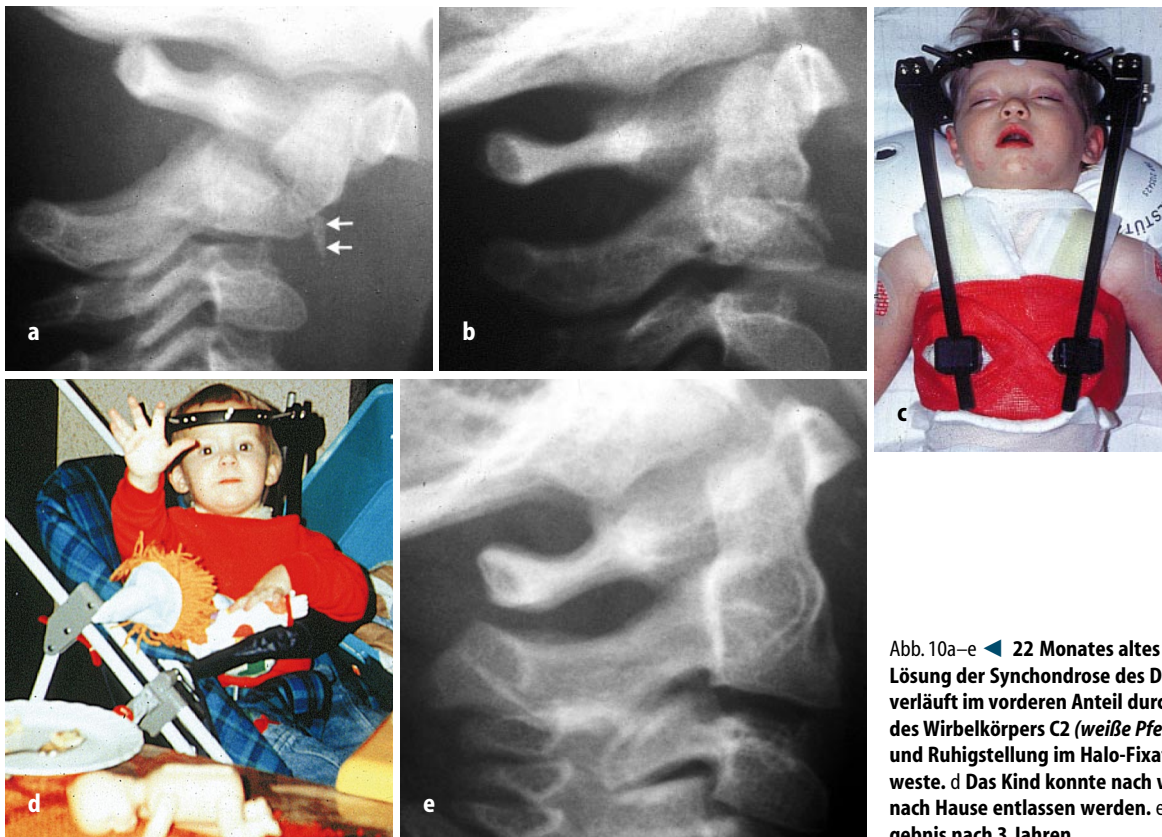


Abb. 10a–e ◀ 22 Monate altes Mädchen mit Lösung der Synchronose des Dens. a Die Fraktur verläuft im vorderen Anteil durch die Vorderkante des Wirbelkörpers C2 (weiße Pfeile). b, c Reposition und Ruhigstellung im Halo-Fixateur mit Gipsweste. d Das Kind konnte nach wenigen Tagen nach Hause entlassen werden. e Ausheilungsergebnis nach 3 Jahren

wird über eine 40%ige Komplikationsrate berichtet. Schmerzen, Lockerung, Wanderung der Stifte und Entzündungen der Eintrittsstellen sind die häufigsten Probleme [104]. Der kindliche Schädel hat bereits im Alter von 3–5 Jahren 94% der Länge und 89% der Breite des erwachsenen erreicht [73]. In dieser Phase der Entwicklung besteht eine große Variabilität in der Topografie. Deshalb wurde ein begrenztes Computertomogramm empfohlen, um den Sitz der Pins, besonders bei erneuter Applikation, optimal wählen zu können [104].

Allgemein wird geraten, wegen des elastischen Knochens bei Kindern mehr als 4 Stifte einzudrehen [104, 117, 162]: Bis zum Alter von 2 Jahren 10–12 Stifte mit einem Drehmoment von 2in/lb, zwischen 2 und 6 Jahren 6–8 Stifte mit einem Drehmoment von 4–6 in/lb, bei Älteren wie beim Erwachsenen. Die Gefahr der Penetration ins Schädelinnere und der Lockerung wird mit der „Dornenkrone“ vermindert.

Die Einrichtung dislozierter Läsionen unter Bildwandlerkontrolle bereitet in der Regel keine Schwierigkeiten. Anschließend überprüfen wir, wenn nötig,

das Instabilitätsausmaß der Verletzung und legen eine Gipsweste an, in die Adapter für die Verbindungsstangen zum Halo-Ring eingegipst werden. Neuerdings sind auch konfektionierte Kunststoffwesten für Kleinkinder erhältlich. Eine erneute röntgenologische Stellungskontrolle und anfangs wöchentliche Stellungskontrollen sind notwendig. Der Halo-Fixateur wird für 3 Monate getragen. Nach dieser Zeit muß das Behandlungsergebnis durch Funktionsaufnahmen überprüft werden.

von Laer [158] war der Ansicht, daß dislozierte Densfrakturen grundsätzlich durch eine dorsale Spondylodese C1/C2 stabilisiert werden müßten. Grob et al. [71] schränkte die Operationsindikation auf Kinder mit geschlossener subdentaler Synchronose ein. Eine generelle Empfehlung zur chirurgischen Behandlung läßt sich jedoch weder aus unserer eigenen Erfahrung noch aus der Literatur begründen [21, 143].

Eine Operationsindikation kann sich jedoch unter folgenden Bedingungen ergeben:

- Die Verletzung kann im Halo-Fixateur nicht oder nur unter extremen

Haltungen des Kopfes retiniert werden.

- Die Läsion ist mindestens um Densbreite disloziert und/oder hochgradig instabil.
- Nach konservativer Behandlung wird eine anhaltende Instabilität festgestellt. Dies traf auf eines der Kinder zu, die wir behandelt haben und zwar trotz achsengerechter Stellung des Dens während der gesamten Ruhigstellungsdauer. Bei diesem Mädchen genügte anfangs schon Schluckbewegungen, um eine im Bildwandler nachweisbare Bewegung der Densspitze auszulösen [19].

Fehlschläge nach konservativer Behandlung wurden von verschiedenen Autoren entweder durch eine unangemessene Ruhigstellung oder ausgeprägte Instabilität der Verletzung begründet.

In der Literatur fanden wir einschließlicher unserer 3 Patienten 10 Berichte über eine offene Stabilisierung kindlicher Densfrakturen [20]. Bei 4 Patienten begründeten Pseudarthrosen nach konservativer Behandlung die Indikation, bei den übrigen bestand eine ausge-



Abb. 11a–d ▲ Densfraktur bei einem 3 1/2-jährigen Mädchen. a Unnötige Extension mit einer Crutchfield-Zange. Dadurch vermehrte Diastase des Läsion. b, c Reposition und Anlage eines Halo-Fixateur. d Im weiteren Verlauf problemlose Ausheilung. Stabilität in den Funktionsaufnahmen nach Abnahme des Halo-Fixateur

prägte Instabilität oder die Autoren hatten ihr chirurgisches Vorgehen nicht näher erläutert. Nur einmal [95] wurde der Dens direkt verschraubt, alle anderen Patienten erhielten eine dorsale Fusion C1/C2. Auch wenn Kinder den Ausfall der Beweglichkeit in diesem Segment gut kompensieren sollen und dorsale Fusionen wohl „mitwachsen“, ist die direkte Osteosynthese sicherlich vorzuziehen. Die erste Patientin operierten wir kombiniert dorsoventral (Abb. 12). Zunächst wurde eine temporäre Cerclage C1/C2 angelegt, dann die Synchondrose von ventral ausgeräumt und mit etwas Spongiosa aufgefüllt. Die Cerclage wurde 4 Monate später wieder entfernt. Die Patientin war zuvor 12 Wochen im Halo-Fixateur mit Gipsweste behandelt worden ohne daß die Verletzung ausgeheilt wäre. Die beiden anderen Kinder, 9 und 18 Monate alt, stabilisierten wir mit jeweils zwei Schrauben von ventral. Lagerung und Operationstechnik unterschieden sich nicht von der beim Erwachsenen (Abb. 13 und Abb. 14).

Die Prognose der Verletzungen ist gut. Leichte Verkippen von unter  $10^\circ$  sowie geringe translatorische Verschiebungen scheinen sich „auszuwachsen“ [143]. In einigen Fällen beobachtet man eine gewissen „Verplumpung“ des Dens; die Konsequenzen sind unklar.

Ebenso ungewiß ist, ob größere Achsenfehler korrigiert werden (Abb. 15).

### Atlantoaxiale Dislokation (AAD)

Ligamentäre atlantoaxiale Instabilitäten werden in *translatorische Verschiebungen des Atlas im Verhältnis zum Axis* und *rotatorische Fehlstellungen* unterteilt. Kombinationen kommen ebenfalls vor. Davon unterscheidet man *osteoligamentäre* Dislokationen, wie beispielsweise transdentale „Luxationsfrakturen“. Ein eigentliches Gelenk ist bei den zuletzt genannten Verletzungen nicht betroffen; sie wurden bei den Densfrakturen bereits angesprochen.

Die Articulationes atlantoaxiales setzen sich aus den paarigen Articulationes atlantoaxiales laterales und der Articulation atlantoaxialis mediana zusammen. Funktionell handelt es sich um Drehgelenke, die zwangsläufig miteinander kombiniert sind. Die Gelenkmasse von C1 und C2 sind beide in der sagittalen Ebene *konvex* geformt; zusammen mit relativ schlaffen, flächenhaften Kapsel- und Bandverbindungen in kranio-kaudaler Richtung erlaubt dies erhebliche Rotationsbewegungen des Atlas im Verhältnis zum Axis, die nach *in vitro* und *in vivo* Messungen zu beiden Seiten zwischen  $34^\circ$  und  $47^\circ$  betragen können [44–46, 161]. Ungefähr 60% der gesamten axialen Rotation von Okziput und Halswirbelsäule findet zwischen Co und C2 statt, 40% in der unteren Halswirbelsäule [162].

Das *Lig. transversum atlantis*, die wichtigste Bandstruktur im atlantoaxialen Gelenkkomplex, ist wenig elastisch und besitzt eine individuell sehr unterschiedliche Steifigkeit. In dieses Bandstrahlen zur Verstärkung die Fasciculi

longitudinales ein, welche vom Vorder- und Hinterflanke des zweiten Halswirbels ziehen. Zusammen bilden diese Bandstrukturen ein „Kreuzband“, das *Lig. cruciforme atlantis*. Die paarigen *Ligg. alaria*, entspringen mit jeweils einer Pars occipitalis seitlich am Dens und ziehen einerseits zum seitlichen Rand des Foramen magnum sowie zum medialen Rand der Okzipitalkondylen, andererseits als Pars atlantis zum vorderen Atlasbogen; sie dienen als sekundäre Stabilisatoren [55]. Den übrigen Bändern und den Gelenkkapseln wird in dieser Hinsicht nur eine geringe Bedeutung zugesprochen.

### Translatorische AAD

Von einer *translatorischen, ventralen* AAD spricht man bei Kindern, wenn der atlantodentale Abstand auf röntgenologischen Funktionsaufnahmen über 4 mm beträgt (s. o.). Diese *instabile* Verletzung entsteht nur bei gerissenem *Lig. transversum atlantis* [36, 55]. *Kraniale atlantoaxiale Dislokationen* sind extrem seltene, bis jetzt bei Kindern noch nie beschriebene Läsionen.

Überlebende einer *ligamentären translatorischen AAD* zeigen oft neben neurologischen Störungen, die sich auch sekundär entwickeln können [35, 59], nur unspezifische Symptome wie Nackenschmerzen oder schmerzhafte Bewegungseinschränkungen mit Muskelhartspann oder eine Haltungsinsuffizienz des Kopfes. Auf *Übersichtsaufnahmen der Halswirbelsäule in zwei Ebenen* können sagittale und axiale Verschiebungen des Atlas durch spontane Resposition maskiert sein!

Ebenso wie bei den rotatorischen Instabilitäten (s. u.) kann eine Insuffizienz

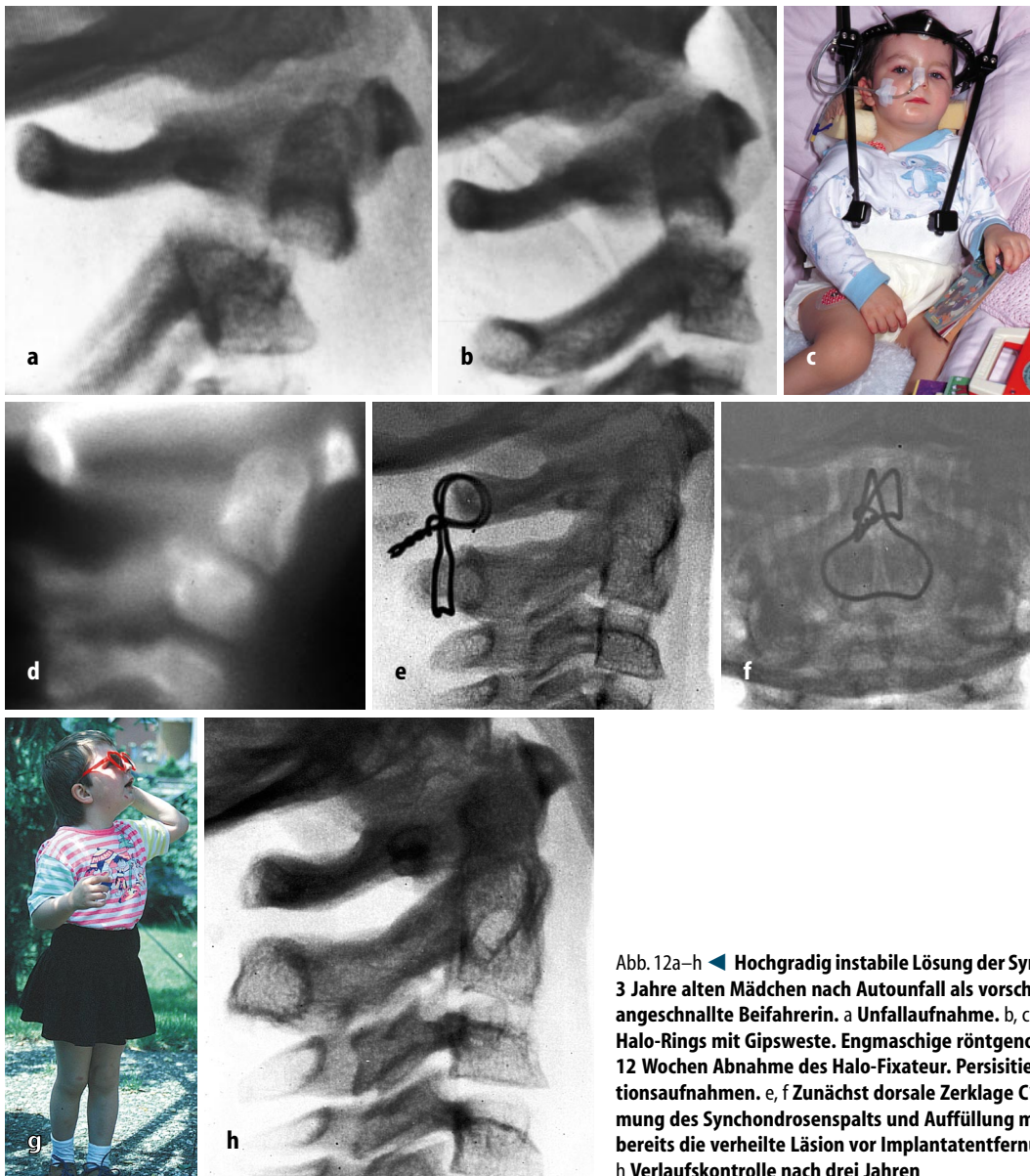


Abb. 12a–h ◀ Hochgradig instabile Lösung der Synchondrose des Dens bei einem 3 Jahre alten Mädchen nach Autounfall als vorschriftsmäßig in einem Kindersitz angeschnallte Beifahrerin. a Unfallaufnahme. b, c Reposition und Anlage eines Halo-Rings mit Gipsweste. Engmaschige röntgenologische Kontrollen. d Nach 12 Wochen Abnahme des Halo-Fixateur. Persistierende Instabilität in Funktionsaufnahmen. e, f Zunächst dorsale Zerklage C1/C2, dann von ventral Ausräumung des Synchondrosenspalts und Auffüllung mit Spongiosa. Das Bild zeigt bereits die verheilte Läsion vor Implantatentfernung. g Klinisches Ergebnis. h Verlaufskontrolle nach drei Jahren

enz des Lig. transversum atlantis mit vergrößertem retrodentalem Abstand auch bei entzündlichen oder rheumatoïden Krankheitsbildern auftreten [56, 161].

Hinweise in der Literatur decken sich mit eigenen Erfahrungen: Dislokationen in sagittaler Richtung heilen bei konservativer Behandlung auch bei Kindern und auch nach langfristiger Ruhigstellung *nicht* aus [35, 109]. Sie erfordern eine Fusion zwischen C1 und C2 (Abb. 9; [42, 57, 59, 77]). Biomechanisch [116] und klinisch hat sich die dorsale Spondylodese in Kombination mit einer transartikuläre Verschraubung C1/C2 nach Magerl [108] als beste Lösung herausgestellt.

### Rotatorische AAD

Bereits 1830 von Bell anlässlich einer Autopsie gefunden, wurden „spontane“, nicht traumatische, rotatorische, atlantoaxiale Dislokationen bei Kindern häufig in Zusammenhang mit Entzündungen der umgebendem Halsgewebe unter verschiedenen Namen wie „Distensionsluxation“ [165], „Drehungsverrenkung“ [149], „entzündliche Verrenkung“ [58], „Grisel-Syndrom“ [68], aber auch bei angeborenen Fehlbildungen immer wieder beschrieben. Viel seltener findet man Berichte über „echte“ traumatische atlantoaxiale Rotationsluxationen. Eine Unterscheidung dieser beiden Formen ist für das Verständnis

des seltenen Krankheitsbildes wichtig (Tabelle 1). Gemeinsam ist beiden, daß die genaue Diagnose bei den meisten Patienten trotz eines typischen, eindrucksvollen und weitgehend uniformen klinischen Bildes oft erst nach Wochen und Monaten gestellt wird oder daß die Fehlstellung zwar erkannt aber inkonsequent therapiert wird. Die Vorstellung der Kinder bei einem Psychologen ist keine Seltenheit.

Bei der *rotatorischen* AAD handelt es sich um ein auf den ersten Blick verwirrendes und in seiner Ätiologie und Pathogenese noch nicht völlig aufgeklärtes Krankheitsbild. Es kommen traumatische Formen vor, aber auch solche ohne adäquates Unfallereignis

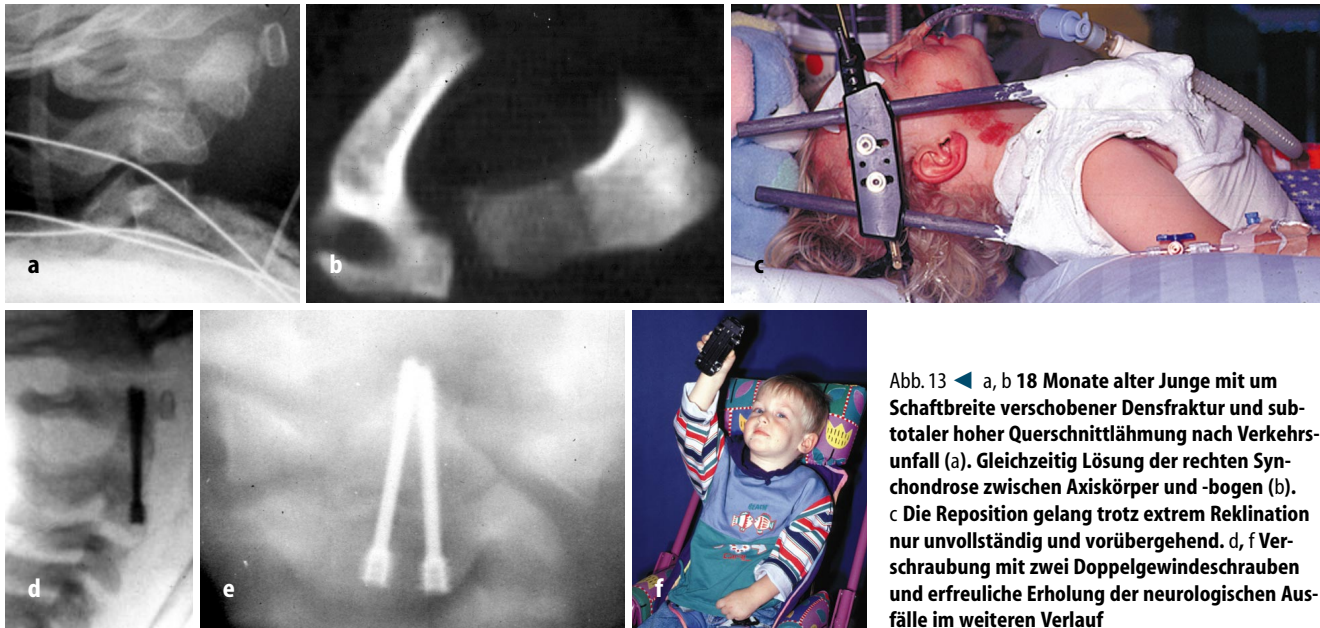


Abb. 13 ◀ a, b 18 Monate alter Junge mit um Schaffbreite verschobener Densfraktur und subtotaler hoher Querschnittlähmung nach Verkehrsunfall (a). Gleichzeitig Lösung der rechten Synchondrose zwischen Axiskörper und -bogen (b). c Die Reposition gelang trotz extrem Reklination nur unvollständig und vorübergehend. d, f Verschraubung mit zwei Doppelgewindeschrauben und erfreuliche Erholung der neurologischen Ausfälle im weiteren Verlauf

sowie „fixierte“ und reponierbare Fehlstellungen. Eine familiäre Disposition scheint vorzuliegen: Bei näherem Nachfragen berichten die Betroffenen manchmal über ähnliche, flüchtige Ereignisse bei Geschwistern oder in der eigenen Anamnese, die nach einigen Tagen der Bettruhe wieder verschwunden waren. Typisch sind Bagatelltraumata.

Fielding u. Hawkins [56] schlugen nach einer Analyse von 17 Patienten eine Einteilung der „fixierten atlantoaxialen Rotation“ vor. In ihrem Krankengut befanden sich nur zwei Patienten mit einem adäquaten Unfallereignis in der Anamnese. Die ersten beiden Typen ihrer Klassifikation lassen sich jedoch auch bei traumatischen rotatorischen Instabilitäten anwenden [40]; Typ III und IV dagegen wurden *nur bei nicht-traumatischen Verschiebungen* beobachtet. Je nach Ausmaß der Dislokation kommt – vor allem nach einem Unfall – eine mehr oder weniger ausgeprägte *Verkipfung des Atlas* bis hin zur Verhakung der Gelenkfortsätze auf einer Seite hinzu.

*Typ I* bezeichnet die fixierte rotatorische *Dislokation ohne Verschiebung des Atlas nach vorne*. Bei dieser häufigsten Form besteht die Rotationsfehlstellung innerhalb der normalen Drehfähigkeit des Atlas und um den Dens axis als Drehpunkt. Das Lig. transversum ist intakt und der atlantodentale Abstand normal. *Typ II*, die rotatorische Disloka-

Tabelle 1

### Unterscheidungsmerkmale zwischen traumatischer und nicht traumatischer Rotationsluxation C1/C2. Die Übergänge zwischen beiden Formen sind fließend

Nicht traumatische atlanto axiale Rotationsluxation	Traumatische atlantoaxiale Rotationsluxation
Meist Kinder, überwiegend Mädchen betroffen [79, 122, 129]. Bandlaxität unklarer Genese als mögliche Ursache. Synonyme: „Atlantoaxiale rotatorische Fixation“ [56]; „Rotatorische atlantoaxiale Subluxation“ [129]	Kinder und Erwachsene betroffen
<b>Anamnese</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Spontaner Beginn</li> <li>• Juvenile, rheumatoide Arthritis</li> <li>• Chirurgischer Eingriff im Bereich des Pharynx wie z. B. Tonsillektomie, Mastoidektomie [31]</li> <li>• Infektion der oberen Luftwege, dann wird das Krankheitsbild auch „Grisel-Syndrom“ oder „Torticollis naso-pharyngien“ [68] genannt [3]</li> <li>• Unbedeutendes Trauma wie banaler Sturz, chiropraktische Maßnahmen o. ä. [77, 97]</li> <li>• Typisch ist eine oft um Monate verzögerte Diagnosestellung und die Vorstellung der Kinder bei verschiedenen Ärzten und Psychologen</li> </ul>	<b>Anamnese</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adäquates Trauma beim Erwachsenen</li> <li>• Kindliches Trauma mit zusätzlichen Frakturen der oberen Extremitäten, typischerweise Klavikulafrakturen [48, 67]</li> </ul>
<b>Ätiologie und Pathogenese</b> Nicht eindeutig geklärt. Vermutet wird eine entzündliche Hyperämie über lymphovenöse, pharyngovertebrale Plexus fortgeleitet zum atlantoaxialen Gelenk [127]; dadurch Dekalzifikation des vertebralen Knochens besonders in der Umgebung der Gelenkkapseln und/oder „Erweichung“ der Bänder	<b>Ätiologie und Pathogenese</b> Traumatische Kapselbandzerreißen
<b>Fehlstellung</b> Unterschiedlich ausgeprägte „fixierte“ Rotationsfehlstellung des Atlas über dem Axis, teilweise innerhalb der normalen Drehmöglichkeit ohne wesentlich Verkipfung, Drehpunkt häufig in einem Gelenkmassiv, das im wesentlichen unverschoben bleibt	<b>Fehlstellung</b> Verkippte Luxation eines Gelenkmassivs in Rotationsstellung des Atlas. Wenn Drehpunkt im Dens axis, Luxation beider Gelenke möglich

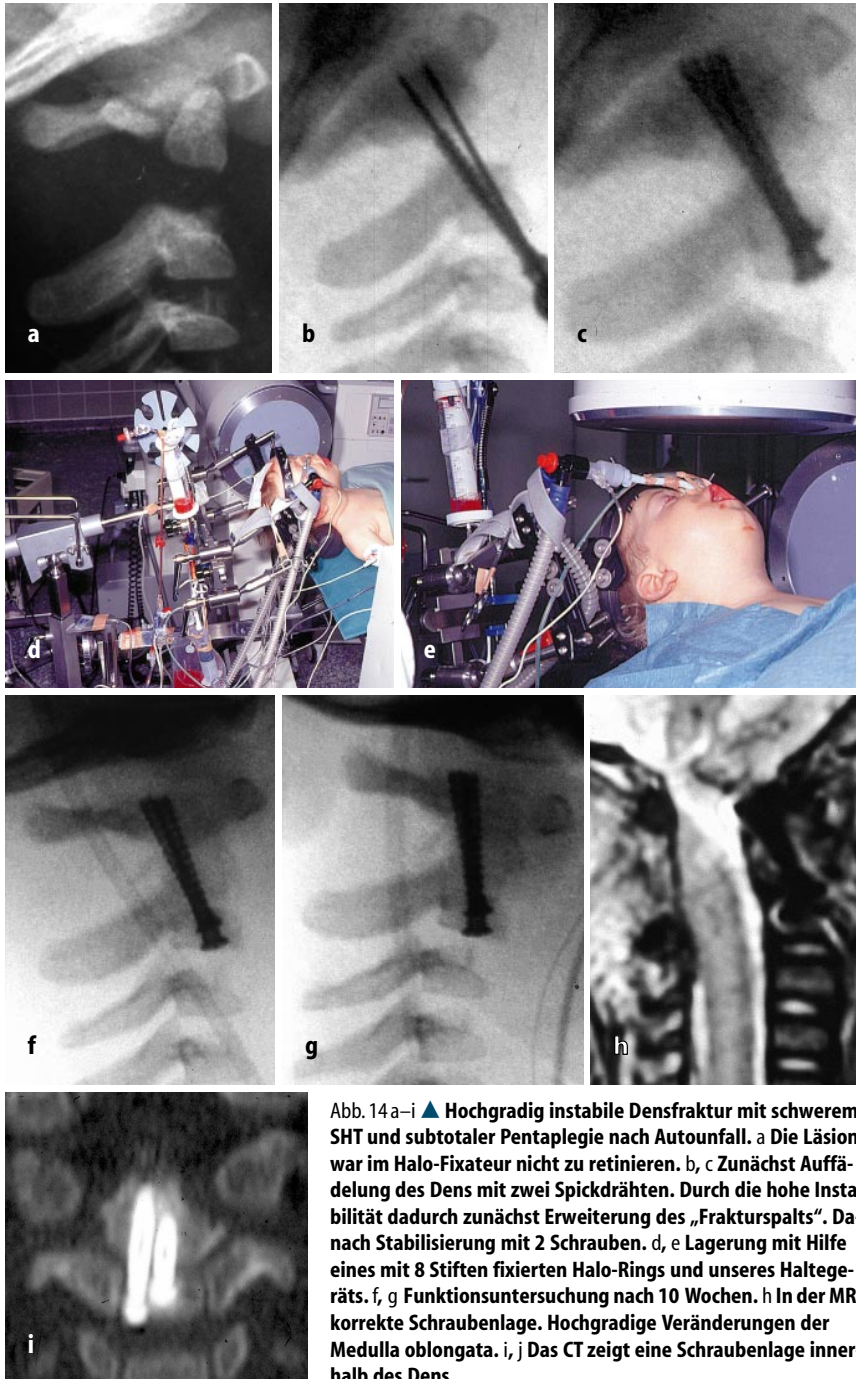


Abb. 14 a–i ▲ Hochgradig instabile Densfraktur mit schwerem SHT und subtotaler Pentaplegie nach Autounfall. a Die Läsion war im Halo-Fixateur nicht zu retinieren. b, c Zunächst Auffädung des Dens mit zwei Spickdrähten. Durch die hohe Instabilität dadurch zunächst Erweiterung des „Frakturspalts“. Danach Stabilisierung mit 2 Schrauben. d, e Lagerung mit Hilfe eines mit 8 Stiften fixierten Halo-Rings und unseres Haltegeräts. f, g Funktionsuntersuchung nach 10 Wochen. h In der MRT korrekte Schraubenlage. Hochgradige Veränderungen der Medulla oblongata. i, j Das CT zeigt eine Schraubenlage innerhalb des Dens

tion mit Verschiebung des Atlas um 3–5 mm, entsteht bei einer Insuffizienz des queren Bandes. Eine Massa lateralis atlantis ist nach vorne verschoben, die andere dient als Drehpunkt. Beim Typ III kommt es zu einer Verschiebung des Atlas um > 5 mm. Bei diesem Typ wird eine Insuffizienz des Lig. transversum und der sekundären Stabilisatoren angenommen. Typ IV schließlich kommt nur bei fehlendem oder insuffizientem Dens axis vor und bedeutet eine rotato-

rische Dislokation mit Verschiebung des Atlas nach dorsal.

Rotatorische Dislokationen sind immer mit einem „Schiefhals“ kombiniert [48]: Der Kopf „folgt“ dem Atlasring, daher ist wie bei vielen anderen Formen des angeborenen oder erworbenen Schiefhalses der Kopf zu einer Seite geneigt und gleichzeitig zur jeweils anderen Seite gedreht (Abb.16; [52]). Die Kopfhaltung erinnert an die eines Rotkehlchens, das auf einen Wurm wartet

(„cock robin“). Wichtige Unterschiede rotatorischer Dislokationen zum kongenitalen Schiefhals – der häufigsten Differentialdiagnose – sind in Tabelle 2 aufgelistet. Die Drehung des Kopfes ist meist nicht bis zur Mittelstellung möglich; Flexion und Extension können nur endgradig behindert sein. Die Stufe im Bereich der Gelenke soll im Oropharynx leicht zu tasten sein [106]. Die betroffenen Kinder berichten über eine unterschiedlich lange Phase mit schmerzhafter Bewegungseinschränkung. Sie sind in dieser Zeit oft unfähig, den Kopf ohne Hilfe von der Unterlage anzuheben. Bei verzögerter Diagnose stellt sich – bei dann schmerzloser Fehlstellung – meist innerhalb von wenigen Monaten eine Gesichtsasymmetrie mit gestörter Okklusion und skoliotischer Fehllagerung der übrigen Wirbelsäule ein.

Auf dem seitlichen Röntgenbild der oberen Halswirbelsäule sind die kleinen Wirbelgelenke unterhalb von C2 exakt seitlich getroffen bei gleichzeitig verkippter Darstellung des Atlasbogens. Das transorale Röntgenbild zeigt eine Asymmetrie des Dens axis. Bei Rotation des Atlas nach rechts verschiebt sich die linke Massa lateralis nach vorne und rechts und nähert sich dabei scheinbar dem Dens an. Dadurch, daß sich das linke Gelenkmassiv von der Filmebene weg bewegt, erscheint es größer als das rechte, das nach dorsal und damit der Röntgenfolie näher gerückt ist. Bei gekipptem Atlas erscheint der Gelenkspalt links weiter und rechts enger oder völlig überlagert („Zwinker-Zeichen“). Der Dornfortsatz von C2 dient als empfindlicher Indikator: Bei Neigung und Rotation des Atlas weicht er in der gleichen Richtung wie das Kinn von der Mittellinie ab. Bleibt bei der transoralen Röntgenaufnahme in 15° Rotationsstellung des Kopfes zu jeder Seite die Asymmetrie des Dens sowie Beziehung und Größenverhältnisse der Gelenkanteile unverändert, handelt es sich um eine fixierte rotatorische Dislokation. Manchmal hilft eine in der Ebene des verkippten Atlasbogens schräg eingestellte Röntgenaufnahme weiter. Das Computertomogramm zeigt die Fehllagerung der Gelenkpartner und läßt eine Beurteilung des atlantodentalen Abstandes zu. Ein funktionelles Computertomogramm in maximal möglicher Drehung des Kopfes nach rechts und links zeigt folgendes: Bei rotatorischen Dislokationen bleibt

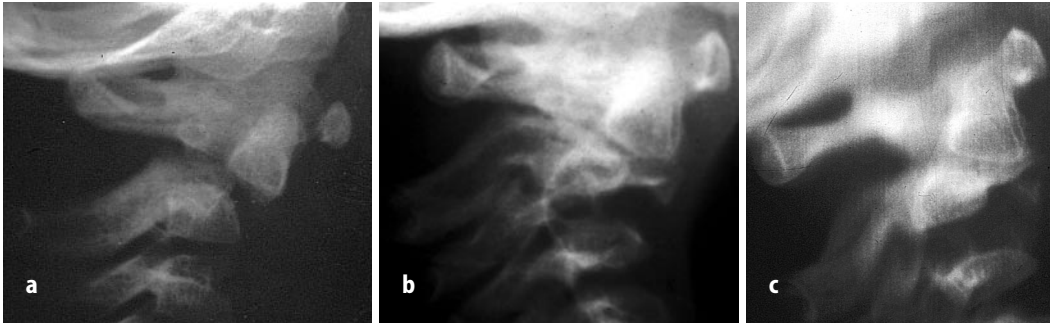


Abb. 15a–c ▲ **Fehlverheilte Lösung der Synchondrose bei einem 2-jährigen Jungen.** Die Röntgenaufnahmen stammen von Herrn Professor Dr. H.-J. Oestern, Chefarzt des Allgemeinen Krankenhauses in Celle, dem wir dafür herzlich danken. a Unfallaufnahme. Zu diesem Zeitpunkt war das Kind 1 Jahr und 3 Monate alt. Es war bei einem Autounfall im Kindersitz verletzt worden. Dabei rissen die Gurte des Sitzes ab. Auswärts wurde ein „Gipskorsett“ für 4 Wochen – wohl bei reponierter Verletzung – angelegt. 7 Wochen nach Abnahme des Gipsverbands wurde die erneute Dislokation bemerkt. Daraufhin erneute Ruhigstellung der HWS bis zur Vorstellung in Celle 5 Monate später. b, c Zu diesem Zeitpunkt ist die Verletzung in Fehlstellung verheilt. Keinerlei klinische Symptome. Aus diesem Grund standen die Eltern operativen Maßnahmen ablehnend gegenüber. Verlaufskontrollen sind geplant

die (Fehl-) Stellung der Gelenkpartner unabhängig von der Drehung des Kopfes bestehen. Normale Werte bei Erwachsenen sind  $4^\circ$  Rotation zwischen Okziput und Atlas ( $> 9^\circ$  pathologisch) sowie  $43^\circ$  zwischen Atlas und Axis ( $> 50^\circ$  pathologisch; [43]). Die Differenz der axialen Rotation zwischen rechter und linker Seite darf in den Segmenten Co/C1 und C1/C2 nicht mehr als  $5^\circ$ , und in den Segmenten Co/C2 zusammen nicht mehr als  $8^\circ$  betragen. Für Kinder liegen keine Messungen vor.

Ein Spiral-CT mit dreidimensionaler Rekonstruktion ermöglicht eine Blickdiagnose (Abb. 16)

Therapiewahl und Prognose sind bei diesen Krankheitsbildern stark abhängig vom Zeitpunkt, an dem die Diagnose gestellt wurde [77]. Sowohl traumatische als auch nicht traumatische Rotationsfehlstellungen lassen sich im *frischen Stadium* leicht reponieren [129]. Bei kindlichen Rotationssubluxationen genügt manchmal Bettruhe, um den Schiefhals zu beseitigen. Sonst gelingt die Reposition durch manuellen Zug, Enthakung und Überführung des Kopfes in die Normalstellung [48]. Eine mehrtägige Extensionsbehandlung ist überflüssig und kann in einzelnen Fällen – wohl durch die damit verbundene Muskelanspannung – sogar eine Einrichtung verhindern [94].

Auch bei veralteten Fehlstellungen kann eine Einrichtung in Narkose gelingen; andernfalls ist eine Dauerzugbe-

handlung angezeigt. Nach eigenen Erfahrungen trifft die Angabe verschiedener Autoren *nicht* immer zu, [56, 129] bei mehr als 4 Wochen alter Verrenkung sei auch bei längerer Extension meist keine oder nur eine geringe Verbesserung zu erwarten (Abb. 17).

Gelingt die Reposition, kann in der Regel mit einer 6–8 wöchigen Ruhigstellung im Halo-Fixateur ein gutes Ergebnis erzielt werden [67]. Vereinzelt wurden in der Anfangsphase der Behandlung Relaxationen beschrieben. Bei geschlossen nicht reponierbarer Fehlstellung wurde nach Mitteilung im

Schrifttum [56, 67, 129] in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle eine *in situ* Fusion C1/C2 vorgenommen. Durch die Versteifung soll sich die Fehlhaltung des Kopfes nach und nach verlieren und bis auf eine leichte Verkippung und Einschränkung der Rotation ein normales klinisches Bild entwickeln. Nur Nerubay et al. [119] berichteten über ein 8-jähriges Mädchen mit 10 Tage alter posttraumatischer, atlantoaxialer Rotationssubluxation, bei welchem nach erfolgloser Dauerzugbehandlung 5 Wochen nach der Verletzung offen eingerichtet und anschließend verblockt wurde.

Nach unseren Erfahrungen bei zwei Kindern und einem Erwachsenen mit rotatorischer AAD ohne Ruptur des Lig. transversum atlantis empfehlen wir folgendes Vorgehen:

- Bei *frischen Verletzungen* geschlossene Reposition und konservative Behandlung im Halo-Fixateur für 8 Wochen.

Tabelle 2

### Unterscheidungsmerkmale zwischen dem angeborenen muskulären Schiefhals und der erworbenen atlanto-axialen Rotationsluxation

Angeborener muskulärer Schiefhals [52]	Erworbene atlanto-axiale Rotationsluxation
M. sternocleidomastoideus auf der verkürzten Seite narbig-sehnig geschrumpft	M. sternocleidomastoideus auf der Seite, zu der der Kopf gedreht ist, verhärtet und angespannt, so als wolle er die Fehlstellung korrigieren (siehe Abb. 17 b)
Kinn leicht angehoben durch Reklination im atlantookzipitalen Gelenk	Kopf leicht gebeugt bei zusätzlicher Verkippung des Atlasbogens
Progredientes Krankheitsbild; Gesichtsskoliose	Eigentliche Fehlstellung meist nicht progredient, plötzlicher Beginn
Schulterhochstand auf der verkürzten Seite	Schultern stehen symmetrisch
Seitverschiebung des Kopfes zur Gegenseite	Keine Seitverschiebung



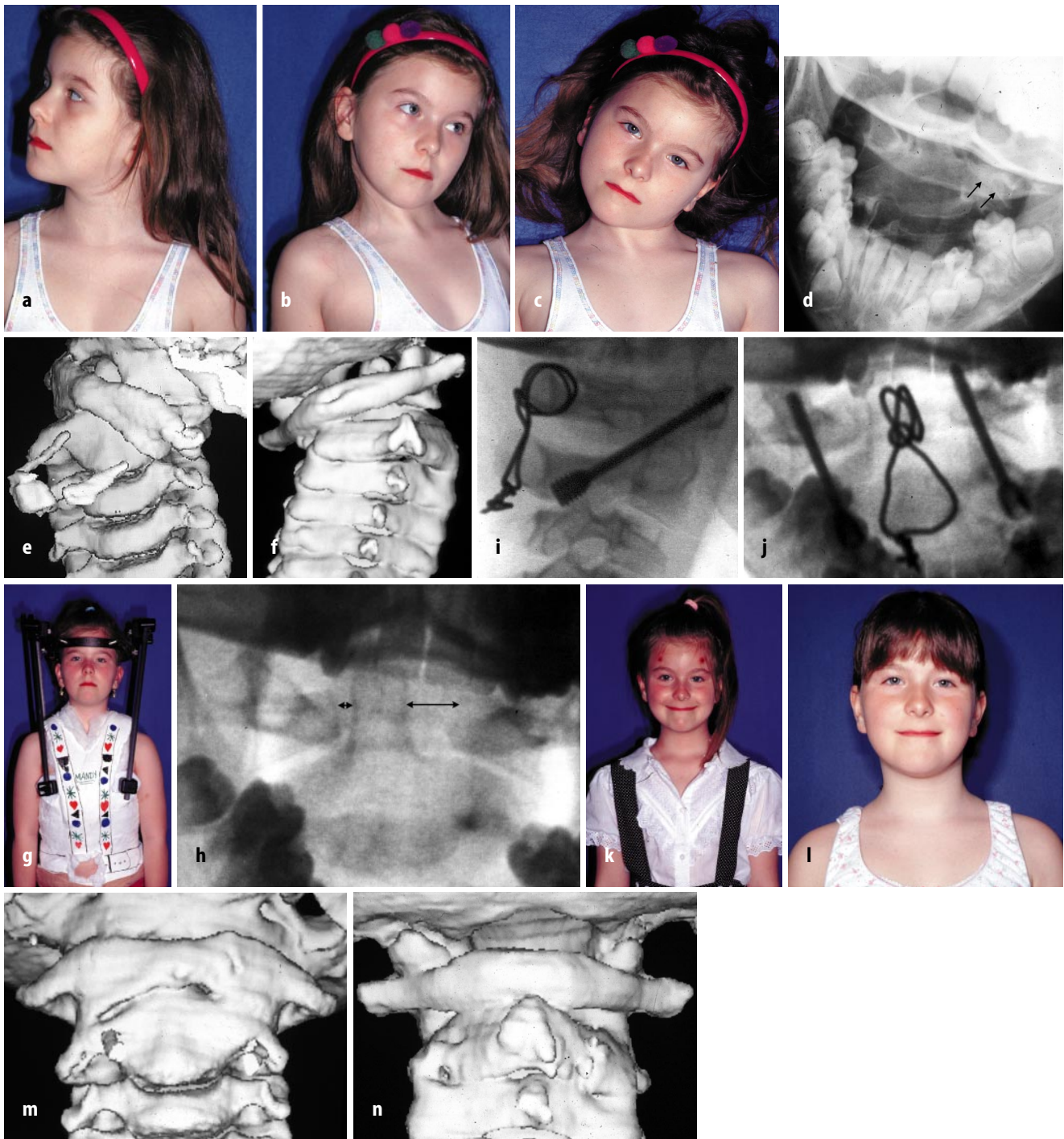


Abb. 16a–n ▲ 6-jähriges Mädchen, Sturz beim Turnen mit traumatischer Rotationsluxation C1/C2 und linksseitiger Klavikulafraktur. Die Verletzung der Halswirbelsäule wurde zunächst nicht richtig interpretiert. Nach vergeblicher physiotherapeutischer Behandlung und Vorstellung des Kindes bei einem Psychologen Überweisung in die Neurologische Klinik der MHH. a, b Nach 5 Monaten entspricht die Haltung des Kopfes mit Drehung nach rechts, Neigung nach links und leichter Beugung der Fehlstellung des Atlas. Gesichtsasymmetrie und Skoliose der thorakolumbalen Wirbelsäule. Drehung nach rechts möglich (a), Drehung nach links nicht (b). c Ansicht von vorne. d Transorale Röntgenaufnahme. Die Pfeile weisen auf das nach ventral luxierte linke Gelenkmassiv des Atlas. e, f Die 3D-Darstellung ermöglicht eine Blickdiagnose. g, h Zunächst Extensionsbehandlung im Halo-Fixateur. Darunter bereits bessere Ausrichtung des Kopfes und Ein-

stellung der Gelenke. Unvollständige Reposition mit Densasymmetrie und unterschiedlich weitem Gelenkspalt C1/C2. Es bestand eine Neigung zur erneuten Luxation. Durch die Extension Druckstellen im Schulterbereich. i, j Lagerung in unserem Haltegerät. Darstellen der Gelenke C1/C2 von dorsal. Daraufhin Drehen des Kopfes im Haltegerät um ca. 25° nach links. In dieser Stellung bildeten das Tuberculum posterius atlantis und die Dornfortsätze der kaudal liegenden Halswirbel eine gerade Linie. Temporäre Stabilisierung C1/C2 mit transartikulären Schrauben und Drahtzirkelklage. Bei gerade ausgerichtetem Kopf schräge Schraubenlage. k, l Klinisches Ergebnis nach Abnahme des Halo-Fixateur (k) und 2 Jahre später. m, n Dreidimensionales CT zu diesem Zeitpunkt. Die Implantate waren inzwischen entfernt worden. Die Eintrittsstellen der Schrauben sind noch zu erkennen

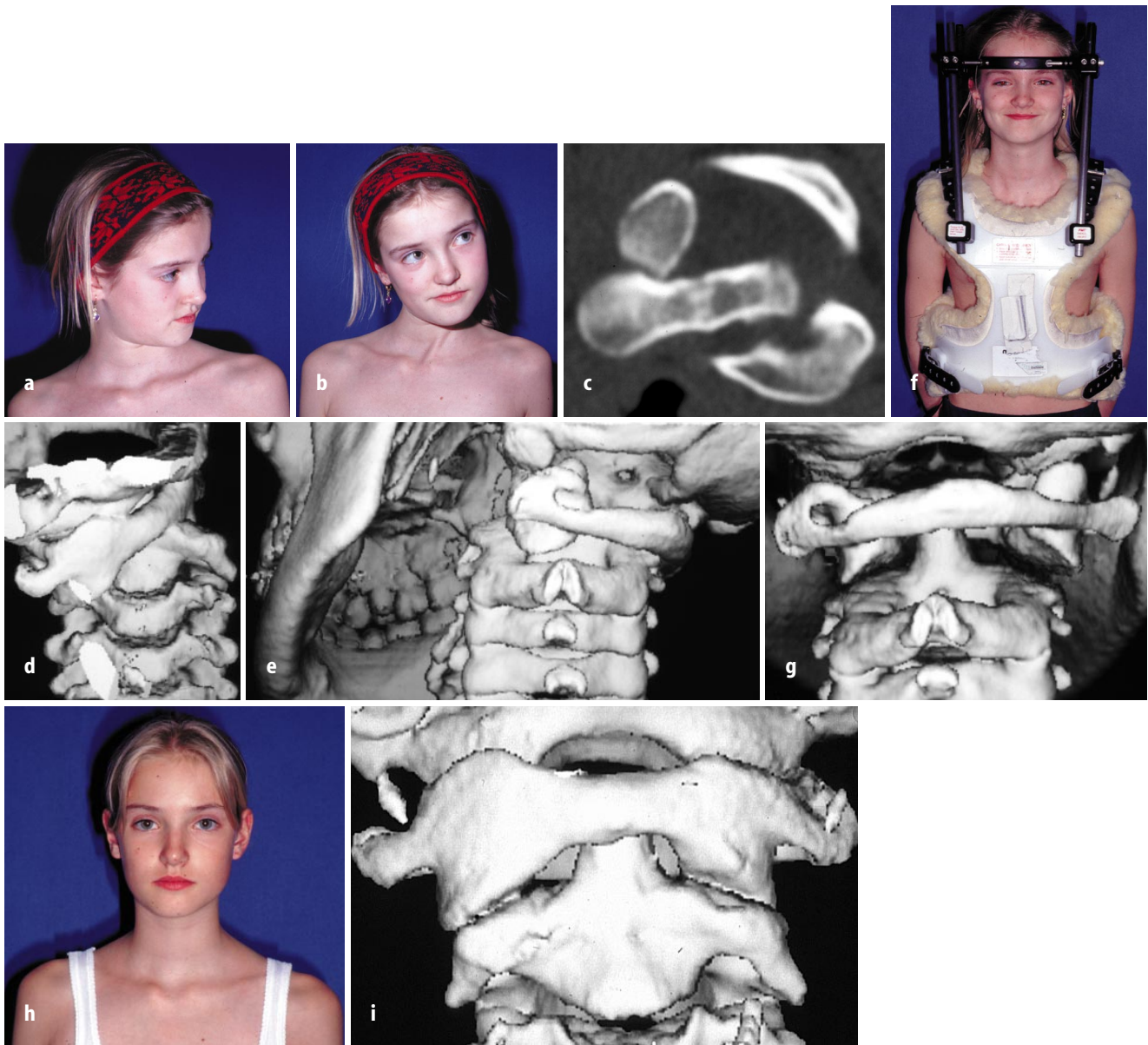


Abb. 17a-i ▲ **Konservative Behandlung einer veralteten Rotationsluxation C1/C2.** a, b 11-jähriges Mädchen 9 Wochen nach „spontaner“ Rotationsluxation, die zunächst als Schiefhals behandelt worden war. Kopfdrehung nach links nicht bis zur Mittellinie möglich. Man beachte auch den angespannten M. sternocleidomastoideus links als differentialdiagnostisches Zeichen (siehe auch Tabelle 2). Eine flüchtige Episode mit ähnlicher klinischer Ausprägung wurde auf Nachfragen sowohl von unserer Patientin als auch von ihrer Schwester berichtet. c–e Zwei- und dreidimensionale Darstellung. f, g Geschlossener Repositionsversuch mit Hilfe des Halo-Fixateur. Das Kontroll-CT zeigt eine verbesserte Stellung und die (Über-)Distraction der Gelenke. Unter engmaschiger Verlaufskontrolle und verschiedenen Nachkorrekturen Ausbehandlung im Halo-Fixateur. h, i Klinisches und röntgenologisches Ergebnis 1 Jahr und 4 Monate später

- *Technik der geschlossenen Reposition:* Bei frischen Verletzungen *frühzeitig* in der Regel leicht möglich! Unter Längszug zunächst Betonung der Rotationsfehlstellung. Nach Entlastung des Gelenks Überführen des Kopfes in die normale Stellung. Das Einrichten kann manchmal gespürt

und gehört werden. Der Patient empfindet sofort Erleichterung. Im Rahmen der Reposition immer Überprüfung einer möglichen sagittalen Instabilität unter Durchleuchtung.

- Bei *veralteten Fehlstellungen* sollte der Versuch einer Einrichtung in Nar-

kose oder durch Extension für einige Tage unternommen werden. Gelingt die Reposition, kann unter sorgfältigen Kontrollen im Halo-Fixateur ausbehandelt werden.

- Irreponible Fehlstellungen bedürfen der offenen Einrichtung und transartikulären Verschraubung C1/C2 von dorsal oder von ventral über einen transoralen Zugang. Von dorsal gelingt die Präparation des verrenkt stehenden Gelenkmassivs nicht so gut, wie von ventral. Nach Lösung des Gelenks kann der Atlasing jedoch mit Hilfe des Kopfes als „Repositionshilfe“ gedreht und damit reponiert werden (Abb.16). Eine regelrechte Versteifung des stabilisierten Segments ist nicht erforderlich.

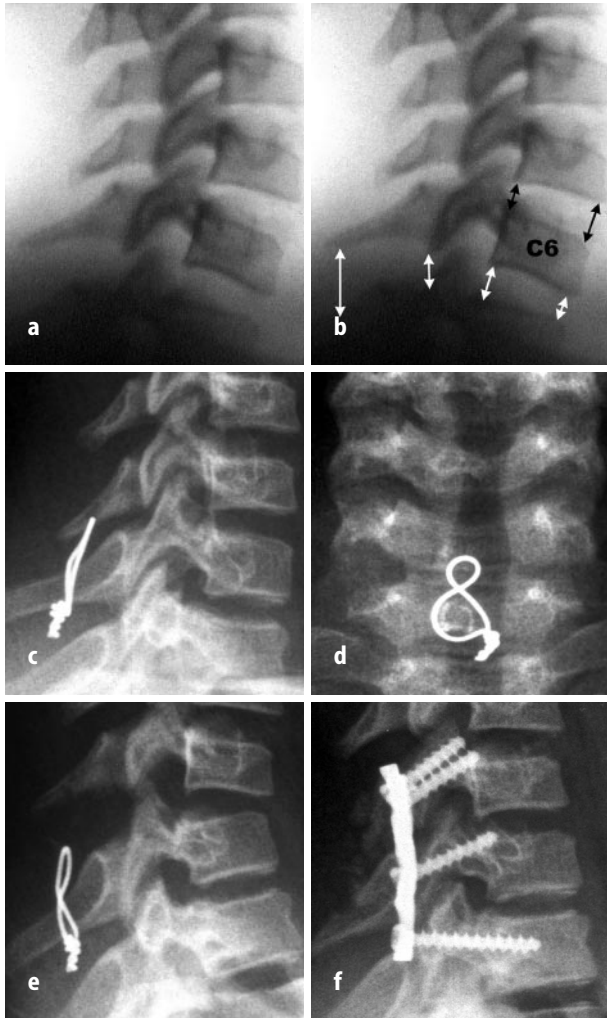


Abb. 18 a–f ▲ Flexionssubluxation bei einem 12-jährigen Mädchen nach Pferdesturz. a, b Bei der Funktionsuntersuchung unter Bildwandlerkontrolle auch in maximaler Reklination unvollständige Reposition mit erweitertem Dornfortsatzabstand, abgedeckten Gelenkfacetten und dorsal größerem Bandscheibenraum C6/C7 (weiße Pfeile). Deutliche lokale Druckschmerzhaftigkeit, schmerzhaft eingeschränkte Beweglichkeit. c, d Auch in Narkose war die Reposition zunächst nicht besser möglich. Bei der Revision von dorsal zeigten sich eingeschlagene Kapsel- und Bandanteile als Repositionshindernis. Nach Entfernen problemlose Einrichtung. Zerklage C6/C7. e Von der inzwischen schmerzfreien Patientin unbemerkt Ausriß der Zerklage und verstärkte Fehlstellung nach 2 Wochen. f Spondylodesse C6/C7 mit zwei Platten. Links mußte die Platte mit einer transpedikulären Schraube in T1 fixiert werden, da die Schraubenverankerung in C7 mißlang. Keine Fusion zwischen C7/T1

- Bei *rotatorischen Fehlstellungen mit Ruptur des Lig. transversum atlantis* muß man dagegen nach transartikulärer Verschraubung C1/C2 in reponierter Stellung von dorsal fusionieren.

### Traumatische Spondylolisthese

Die Verletzung kommt beim Kind sehr selten vor [63]. Sie wurde nach Verkehrsunfällen, Stürzen aus geringer Höhe und Kindesmißhandlung beobachtet [75, 111, 130, 140].

Frakturen der Pedikel des Axis sind auf einer seitlichen Aufnahme der obe-

ren Halswirbelsäule zu erkennen; zur vollständigen Diagnostik gehören eine Funktionsuntersuchung und die Computertomografie. Die Synchondrosen der Axisbögen dürfen nicht mit einer Hangman Fraktur verwechselt werden [153]!

Der Bruch wird im Halo-Fixateur mit Gipsverband für 4 Wochen ruhiggestellt [5]. Die Heilung sollte mit Funktionsaufnahmen überprüft werden.

### Flexionssubluxation im Segment C2/C3

Eine diskoligamentäre Instabilität in diesem Segment ist im Gegensatz zur Pseudosubluxation sehr selten (s.o.) und kommt vorwiegend bei Kindern mit einem Alter über 10 Jahren vor (Abb. 4; [143]). Als röntgenologisches Hinweiszeichen gilt eine auch in maximaler Reklination anhaltende Fehlstellung in diesem Bewegungssegment (Abb. 18; [5]).

Schwarz et al. [143] berichteten über eine erfolgreich konservativ im Minerav-Gipsverband behandelten Patienten. Funktionsaufnahmen existieren allerdings wohl nicht. Unser Patient mußte wegen anhaltender Instabilität nach 16wöchiger Ruhigstellung von ventral interkorporell fusioniert werden. Wenn man sich zu einem konservativen Behandlungsversuch entschließt, muß das Ergebnis unbedingt mit Hilfe von Funktionsaufnahmen überprüft werden.

### Verletzungen der unteren HWS

Für die untere HWS existieren keine allgemein anerkannten Behandlungsrichtlinien. Die Zahl langfristig beobachteter Kinder ist viel zu gering. Folgendes kann man für Typ A-Läsionen, also Verletzungen, die vorwiegend durch Kompression der vorderen Säule zustande kommen, zusammenfassen:

- Die geschlossene Reposition eingestauchter Kompressions- oder Flexions-Kompressionsfrakturen ist *nicht* möglich. Die Halswirbelsäule läßt sich zwar in überstreckter, lordotischer Haltung ruhigstellen. Nach Abnahme der äußeren Ruhigstellung geht die Stellungskorrektur jedoch wieder verloren wie Schwarz et al. anhand von 8 Patienten beschreiben konnten [143].
- Es ist unbekannt, bis zu welchem Ausmaß kyphotische Fehlstellungen toleriert werden dürfen [49].
- Das Ausmaß einer „spontanen“ Korrektur keilförmiger Wirbelkörper im Zuge des Wachstums ist nicht vorherzusagen. Es wurde sowohl über Patienten mit [25] als auch ohne „spontane“ Aufrichtung [143] berichtet. Die HWS besitzt im Gegensatz zur thorakolumbalen Wirbelsäule eine be-

grenzte Korrekturpotenz, da die knöchernen Reifung früher abgeschlossen ist. Schwarz et al. [143] mußte bei 3 von 8 Patienten Fehlstellungen von 25°–45° feststellen!

Nach unseren Erfahrungen mit Verletzungen der gesamten Wirbelsäule bei Kindern heilen Verletzungen mit *ligamentärer oder diskoligamentärer Beteiligung* – also Typ B- und C-Läsionen – genauso wenig stabil aus, wie bei Erwachsenen. Bei allen relevanten Verletzungen der „vorderen Säule“ muß daher eine Mitbeteiligung der hinteren Bänder – beispielsweise mit Hilfe einer MRT – ausgeschlossen werden. Besonders schwerwiegende kyphotische Fehlstellungen gehen häufig mit einer Zerreißung des dorsalen Bandapparates einher.

Bei nachgewiesener *dorsaler Instabilität* ist – besonders bei Patienten, die älter als 8 Jahre sind – die operative Behandlung angezeigt. Ähnlich wie bei Erwachsenen wird man, wenn möglich, die *ventrale interkorporelle Spondylodese* bevorzugen. Irreponible (Sub-)Luxationen sowie solche mit weitgehend intakten Bandscheiben werden dagegen von posterior angegangen (Abb. 18).

Die Langzeitfolgen einer Versteifung im Kindes- oder Jugendlichenalter sind noch zu wenig erforscht.

Problematisch sind Serienkompressionsfrakturen. Es erscheint sinnvoll, diese Patienten zunächst konservativ zu behandeln, die spontane Aufrichtung abzuwarten und später evtl. am Ort der größten Fehlstellung operativ zu korrigieren.

## Literatur

- Ahmann PA, Smith SA, Schwartz JF, Clark DB (1975) **Spinal cord infarction due to minor trauma in children.** Neurology 25: 301–307
- Ahuja A, Glasauer FE, Alker GJ, Jr., Klein DM (1994) **Radiology in survivors of traumatic atlanto-occipital dislocation.** Surg Neurol 41: 112–118
- Akbarnia BA, Vafaie M (1983) **Atlantoaxial rotary fixation. Report of a case with massive displacement.** Spine 8: 907–910
- Alker GJ, Jr., Oh YS, Leslie EV (1978) **High cervical spine and craniocervical junction injuries in fatal traffic accidents: a radiological study.** Orthop Clin North Am 9: 1003–1010
- Allen BL, Ferguson RL (1985) **Cervical spine trauma in children.** In: Bradford DS, Hensinger RM (eds) The pediatric spine. Thieme, Stuttgart, S 89–104
- Anderson JM, Schutt AH (1980) **Spinal injury in children: a review of 156 cases seen from 1950 through 1978.** Mayo Clin Proc 55: 499–504
- Anderson LD, D'Alonzo RT (1974) **Fractures of the odontoid process of the axis.** J Bone Joint Surg [Am] 56: 1663–1674
- Andrews LG, Jung SK (1979) **Spinal cord injuries in children in british columbia.** Paraplegia 17: 442–451
- Ardran GM, Kemp FH (1968) **The mechanism of changes in form of the cervical airway in infancy.** Med Radiogr Photogr 44: 26–38
- Aufdermaur M (1974) **Spinal injuries in juveniles. Necropsy findings in twelve cases.** J Bone Joint Surg [Br] 56: 513–519
- Bailey DK (1952) **The normal cervical spine in infants and children.** Radiology 59: 712–719
- Barcat E, Rigault P, Padovani JP, Martin P (1976) **Fractures et luxations du rachis cervical chez l'enfant.** Annales de Chirurgie Infantile 17: 197–212
- Becker F (1963) **Luxationsfraktur zwischen Atlas und Epistropheus im Kleinkindesalter.** Arch orthop Unfallchir 55: 682–688
- Belzberg AJ, Tranmer BI (1991) **Stabilization of traumatic atlanto-occipital dislocation. Case report.** J Neurosurg 75: 478–482
- Birney TJ, Hanley ENJ (1989) **Traumatic cervical spine injuries in childhood and adolescence.** Spine 14: 1277–1282
- Blauth M (1998) **Obere Halswirbelsäule.** In: Tscherne H, Blauth M (Hrsg) Tscherne Unfallchirurgie Wirbelsäule. Springer, Berlin Heidelberg, S 61–152
- Blauth M, Duschek R, Schmidt U (1994) **A device for stable intra-operative positioning and for reduction of unstable injuries of the cervical spine.** Orthop Traumatol 3: 267–271
- Blauth M, Schmidt U, Knop C, Bastian L, Lange U, Tscherne H (1998) **Verletzungen und Stabilisierungsverfahren an der oberen HWS.** Osteosynthese International 6: 94–111
- Blauth M, Schmidt U, Otte D, Haas N (1994) **Verletzungen des Dens axis im Kleinkindesalter. Biomechanische Analyse sowie operative und konservative Behandlung in 2 Fällen.** Unfallchirurg 97: 413–418
- Blauth M, Schmidt U, Otte D, Krettek C (1996) **Fractures of the odontoid process in small children: biomechanical analysis and report of three cases.** Eur Spine J 5: 63–70
- Blockey NJ, Purser DW (1956) **Fractures of the odontoid process of the axis.** J Bone Joint Surg [Br] 38: 794–817
- Bloom AI, Neeman Z, Floman Y, Gomori J, Bar-Ziv J (1996) **Occipital condyle fracture and ligament injury: imaging by CT.** Pediatr Radiol 26: 786–790
- Bollini G (1993) **Thoracic and lumbar spine injuries in children.** In: Floman Y, Farcy JPC, Argenson C (eds) Thoracolumbar spine fractures. Raven Press, New York, S 307–325
- Bools JC, Rose BS (1986) **Traumatic atlanto-occipital dislocation: two cases with survival.** AJNR. Am J Neuroradiol 7: 901–904
- Braakman M, Braakman R (1987) **Hyperflexion sprain of the cervical spine. Follow-up of 45 cases.** Acta Orthop Scand 58: 388–393
- Buchholz RW, Burkhead WZ (1979) **The pathological anatomy of fatal atlanto-occipital dislocations.** J Bone Joint Surg [Am] 61A: 248–250
- Buchholz RW, Burkhead WZ (1979) **The pathological anatomy of fatal atlanto-occipital dislocations.** J Bone Joint Surg [Am] 61: 248–250
- Bulas DI, Fitz CR, Johnson DL (1993) **Traumatic atlanto-occipital dislocation in children.** Radiology 188: 155–158
- Bundschuh CV, Alley JB, Ross M, Porter IS, Gudeman SK (1992) **Magnetic resonance imaging of suspected atlanto-occipital dislocation. Two case reports.** Spine 17: 245–248
- Burke DC (1974) **Traumatic spinal paralysis in children.** Paraplegia 11: 268–276
- Cattell HS, Filtzer DL (1965) **Pseudosubluxation and other normal variations in the cervical spine in children. A study of one hundred and sixty children.** J Bone Joint Surg [Am] 47: 1295–1309
- Collalto PM, De Muth WW, Schwentker EP, Boal DK (1986) **Traumatic atlanto-occipital dislocation. Case report.** J Bone Joint Surg [Am] 68: 1106–1109
- Cullen JC (1975) **Spinal lesions in battered babies.** J Bone Joint Surg [Br] 57: 364–366
- Daffner RH (1996) **Imaging of vertebral trauma.** Lippincott Raven, Philadelphia
- De Beer JD, Thomas M, Walters J, Anderson P (1988) **Traumatic atlanto-axial subluxation.** J Bone Joint Surg [Br] 70: 652–655
- de La Caffiniere JY, Seringe R, Roy-Camille R, Saillant G (1972) **Étude physio-pathologique des lésions ligamentaires graves dans les traumatismes de la charnière occipito-rachidienne.** Rev Chir Orthop 58: 11–19
- Di Benedetto T, Lee CK (1990) **Traumatic atlanto-occipital instability. A case report with follow-up and a new diagnostic technique.** Spine 15: 595–597
- Diekema DS, Allen DB (1988) **Odontoid fracture in a child occupying a child restraint seat.** Pediatrics 82: 117–119
- Dietz HG, Potakis G, Hertlein H (1992) **Die Densfraktur im Kindesalter.** Akt Chir 27: 130–132
- Dosch JC (1985) **Radiology of the spine. Trauma. Conventional radiological study in spine injury.** Springer, Berlin Heidelberg New York

41. Dublin AB, Marks WM, Weinstock D, Newton TH (1980) **Traumatic dislocation of the atlanto-occipital articulation (AOA) with short-term survival. With a radiographic method of measuring the AOA.** J Neurosurg 52: 541–546
42. Dubrana F, Fenoll B, Dartoy C, Person H, Le Nen D, Courtois B (1994) **Luxation traumatique atloïdo-axoïdienne chez l'enfant: a propos de 7 cas.** Acta Orthop Belg 60: 65–71
43. Dvorak J, Hayek J (1986) **Diagnostik der Instabilität der oberen Halswirbelsäule mittels funktioneller Computertomographie.** Röfo 145: 582–585
44. Dvorak J, Hayek J, Zehnder R (1987) **Ct-functional diagnostics of the rotatory instability of the upper cervical spine. Part 2. An evaluation on healthy adults and patients with suspected instability.** Spine 12: 726–731
45. Dvorak J, Panjabi MM, Gerber M, Wichmann W (1987) **Ct-functional diagnostics of the rotatory instability of upper cervical spine. Part 1. An experimental study on cadavers.** Spine 12: 197–205
46. Dvorak J, Panjabi MM, Hayek J (1987) **Diagnostik der Hyper- und Hypomobilität der oberen Halswirbelsäule mittels funktioneller Computertomographie.** Orthopäde 16: 13–19
47. Eismont FJ, Bohlman HH (1978) **Posterior atlanto-occipital dislocation with fractures of the atlas and odontoid process.** J Bone Joint Surg [Am] 60: 397–399
48. El-Khoury GY, Clark CR, Gravett AW (1984) **Acute traumatic rotatory atlanto-axial dislocation in children. A report of three cases.** J Bone Joint Surg [Am] 66: 774–777
49. Evans DL, Bethem D (1989) **Cervical spine injuries in children.** J Pediatr Orthop 9: 563–568
50. Evarts CM (1970) **Traumatic occipito-atlantal dislocation.** J Bone Joint Surg [Am] 52: 1653–1660
51. Ewald FC (1971) **Fracture of odontoid process in a seventeen-months old infant treated with a halo.** J Bone Joint Surg [Am] 53: 1636–1640
52. Exner G (1990) **Angeborener muskulärer Schiefhals.** In: Witt AN, Rettig H, Schlegel KF Orthopädie in Praxis und Klinik. Band V/Teil 1. Spezielle Orthopädie. Wirbelsäule – Thorax – Becken. Thieme, Stuttgart New York, S 12.1–12.7
53. Farthing JW (1948) **Atlantocranial dislocation with survival.** North Carolina Med J 9: 34–36
54. Fielding JW (1984) **Injuries of the cervical spine.** In: Rockwood CAJr, Wilkins KE, King RE (eds) Fractures in children. Lippincott, Philadelphia
55. Fielding JW, Cochran GvB, Lawsing JF3, Hohl M (1974) **Tears of the transverse ligament of the atlas. A clinical and biomechanical study.** J Bone Joint Surg [Am] 56: 1683–1691
56. Fielding JW, Hawkins RJ (1977) **Atlanto-axial rotatory fixation. (Fixed rotatory subluxation of the atlanto-axial joint).** J Bone Joint Surg [Am] 59: 37–44
57. Filipe G, Berges O, Lebard JP, Carlioz H (1982) **Instabilités post-traumatiques entre l'atlas et l'axis chez l'enfant. A propos de cinq observations.** Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot 68: 461–469
58. Fitzwilliams DCL (1934) **Inflammatory dislocation of the atlas.** Br Med J 2: 107–109
59. Floman Y, Margulies JY, Nyska M, Chisin R, Libergall M (1991) **Effect of major axial skeleton trauma on preexisting lumbosacral spondylolisthesis.** J Spinal Disord 4: 353–358
60. Fruin AH, Pirotte TP (1977) **Traumatic atlanto-occipital dislocation. Case report.** J Neurosurg 46: 663–666
61. Fujii E, Kobayashi K, Hirabayashi K (1988) **Treatment of fractures of the odontoid process.** Spine 13: 604–609
62. Gabrielsen TO, Maxwell JA (1966) **Traumatic atlanto-occipital dislocation; with case report of a patient who survived.** Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med 97: 624–629
63. Gauffin LM, Goodman SJ (1975) **Cervical spine injuries in infants. Problems in management.** J Neurosurg 42: 179–184
64. Gelehrter G (1957) **Die Wirbelkörperbrüche im Kindes- und Jugendalter.** Arch Orthop Chir 49: 253–263
65. Georgopoulos G, Pizzutillo PD, Lee MS (1987) **Occipito-atlantal instability in children. A report of five cases and review of the literature.** J Bone Joint Surg [Am] 69: 429–436
66. Gerlock A, Mirfakhraee M, Benzel E (1983) **Computed tomography of traumatic atlanto-occipital dislocation.** Neurosurgery 13: 316–319
67. Goddard NJ, Stabler J, Albert JS (1990) **Atlanto-axial rotatory fixation and fracture of the clavicle. An association and a classification (published erratum appears in J Bone Joint Surg [Br] 1990 may; 72(3):545).** J Bone Joint Surg [Br] 72: 72–75
68. Grisel P (1930) **Énucléation de l'atlas et torticolis naso-pharyngien.** Presse méd 38: 50–53
69. Grob D (1992) **Dorsale Fixation des okzipitozervikalen Übergangs.** Operat Orthop Traumatol 4: 151–160
70. Grob D, Magerl F (1987) **Operative Stabilisierung bei Frakturen von C1 und C2.** Orthopäde 16: 46–54
71. Grob D, Sacher P, Scheier HJG, Kaufmann L, Dvorak J (1991) **Orthopädische Probleme an der oberen Halswirbelsäule bei Kindern und Jugendlichen.** Orthopäde 20: 133–139
72. Gropper PT, Peeless SJ, Morton KS (1975) **Odontoid fractures in children.** J Bone Joint Surg [Am] 57: 533–533
73. Haas LL (1952) **Roentgenological skull measurements and their diagnostic application.** Am J Roentgenol 67: 197
74. Hadley MN, Dickman CA, Browner CM, Sonntag VK (1988) **Acute traumatic atlas fractures: management and long term outcome.** Neurosurgery 23: 31–35
75. Hadley MN, Sonntag VK, Grahm TW, Masferrer R, Browner C (1986) **Axis fractures resulting from motor vehicle accidents. The need for occupant restraints.** Spine 11: 861–864
76. Hamilton MG, Myles ST (1992) **Pediatric spinal injury: review of 174 hospital admissions.** J Neurosurg 77: 700–704
77. Hardy J, Pouliquen JC, Livernaux P (1990) **Luxation traumatique C1-C2 chez l'enfant. Étude pronostique et indications thérapeutiques a propos de 13 cas.** Rev Chir Orthop 76: 17–22
78. Harmanli O, Koyfman Y (1993) **Traumatic atlanto-occipital dislocation with survival: a case report and review of the literature.** Surg Neurol 39: 324–330
79. Harouchi A, Padovani JP, El Andaloussi M, Refass A (1984) **Les dislocations atloïdo-axoïdiennes chez l'enfant.** Chir Pediatr 25: 136–144
80. Harris JH, Jr, Carson GC, Wagner LK (1994) **Radiologic diagnosis of traumatic occipitovertebral dissociation: 1. Normal occipitovertebral relationships on lateral radiographs of supine subjects.** AJR 162: 881–886
81. Harris JH, Jr, Carson GC, Wagner LK, Kerr N (1994) **Radiologic diagnosis of traumatic occipitovertebral dissociation: 2. comparison of three methods of detecting occipitovertebral relationships on lateral radiographs of supine subjects.** AJR 162: 887–892
82. Henrys P, Lyne ED, Lifton C, Saliccioli G (1977) **Clinical review of cervical spine injuries in children.** Clin Orthop 129: 172–176
83. Herzenberg JE, Hensinger RN, Dedrick DK, Phillips WA (1989) **Emergency transport and positioning of young children who have an injury of the cervical spine. The standard backboard may be hazardous.** J Bone Joint Surg [Am] 71: 15–22
84. Hill SA, Miller CA, Kosnik EJ, Hunt WE (1984) **Pediatric neck injuries. A clinical study.** J Neurosurg 60: 700–706
85. 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
86. Hubbard DD (1974) **Injuries of the spine in children and adolescents.** Clin Orthop 100: 56–65
87. Hubbard DD (1976) **Fractures of the dorsal and lumbar spine.** Orthop Clin North Am 7: 605–614
88. Hummel A, Plau R (1988) **Diagnostik und Behandlung atlantookzipitaler Rupturen.** Unfallchirurgie 14: 311–319
89. Jackson H (1950) **The diagnosis of minimal atlanto-axial subluxation.** Br J Radiol 23: 672–674
90. Jeanneret B (1994) **Obere Halswirbelsäule.** In: Witt AN, Rettig H, Schlegel KF (Hrsg) Spezielle Orthopädie Wirbelsäule – Thorax – Becken. Thieme, Stuttgart New York, S 3.1–3.37
91. Jeanneret B (1996) **Posterior rod system of the cervical spine: a new implant allowing optimal screw insertion.** Eur Spine J 5: 350–356

92. Jevtic V (1989) **Traumatic lateral atlanto-occipital dislocation with spontaneous bony fusion. a case report.** Spine 14: 123–124
93. Jonasch E, Bertel E (1981) **Verletzungen bei Kindern und Jugendlichen bis zum 14. Lebensjahr.** Hefte Unfallheilkd 150: 46–51
94. Jones RN (1984) **Rotatory dislocation of both atlanto-axial joints.** J Bone Joint Surg [Br] 66: 6–7
95. Junge A, Gotzen L, Wiemers F (1994) **Operative Versorgung einer Densfraktur bei 3 jährigem Kind. Klinische Fallbeschreibung und Diskussion anhand der Literatur.** Unfallchirurg 97: 410–412
96. Kaufmann RA, Dunbar JC, Botsford JA, McLaurin RL (1982) **Traumatic longitudinal atlanto-occipital distraction injuries in children.** J Amer med Ass 415–419
97. Kehr P, Mitteau I, Steib P, Sengler J (1989) **Rotationsluxation C1/C2 nach chiropraktischer Manipulation bei einer jungen Patientin.** Manu Med 27: 11–13
98. Keller RH (1974) **Traumatic displacement of the cartilagenous vertebral rim: a sign of intervertebral disc prolapse.** Radiology 110: 21–24
99. Kewalramani LS, Tori JA (1980) **Spinal cord trauma in children. Neurologic patterns, radiologic features, and pathomechanics of injury.** Spine 5: 11–18
100. Lawson JP, Ogden JA, Bucholz RW, Hughes SA (1987) **Physeal injuries of the cervical spine.** J Pediatr Orthop 7: 428–435
101. Lee C, Woodring JH (1991) **Unstable Jefferson variant atlas fractures: an unrecognized cervical injury.** Am J Neuroradiol 12: 1105–1110
102. Lee C, Woodring JH, Goldstein SJ, Daniel TL, Young AB, Tibbs PA (1987) **Evaluation of traumatic atlantooccipital dislocations.** Am J Neuroradiol 8: 19–26
103. Lesoin F, Kabbaj K, Dhellemmes P, Jomin M, Lacheretz M (1984) **Spinal fractures in children. Diagnostic and therapeutic problems. Apropos of 67 cases.** Neurochirurgie 30: 289–294
104. Letts M, Kaylor D, Gouw G (1988) **A biomechanical analysis of halo fixation in children.** J Bone Joint Surg [Br] 70: 277–279
105. Leventhal HR (1960) **Birth injuries of the spinal cord.** J Pediatr Orthop 56: 447
106. Levine AM, Edwards CC (1989) **Traumatic lesions of the occipitoatlantoaxial complex.** Clin Orthop 239: 53–68
107. Locke GR, Gardner JJ, Van Epps EF (1966) **Atlantens interval (adi) in children: a survey based on 200 normal cervical spines.** Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med 97: 135–140
108. Magerl F, Seemann PS (1987) **Stable posterior fusion of the atlas and axis by transarticular screw fixation.** In: Kehr P, Weidner A Cervical Spine I (eds) Springer, Berlin, S 322–327
109. Maiman DJ, Cusick JF (1982) **Traumatic atlantoaxial dislocation.** Surg Neurol 18: 388–392
110. Marlin AE, Williams GR, Lee JF (1983) **Jefferson fractures in children. Case report.** J Neurosurg 58: 277–279
111. McGrory BE, Fenichel GM (1977) **Hangman's fracture subsequent to shaking in an infant.** Ann Neurol 2: 82–82
112. McPhee IB (1981) **Spinal fractures and dislocations in children and adolescents.** Spine 6: 533–537
113. Melzak J (1969) **Paraplegia among children.** Lancet 2: 45–48
114. 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: 483–483
115. Montane I, Eismont FJ, Green BA (1991) **Traumatic occipitoatlantal dislocation.** Spine 16: 112–116
116. Montesano PX, Anderson PA, Schlehr F, Thal-gott JS, Lowrey G (1991) **Odontoid fractures treated by anterior odontoid screw fixation.** Spine 16: 33–37
117. Mubarak SJ, Camp JF, Vuletic W, Wenger DR, Garfin SR (1989) **Halo application in the infant.** J Pediatr Orthop 9: 612–614
118. Müller R, Erdweg W (1989) **Densfrakturen im Kindesalter.** Unfallchirurg 92: 296–300
119. Nerubay J, Lin E, Weiss J, Lev-el A, Katznelson A, Tadmor R (1985) **Posttraumatic atlantoaxial rotatory fixation.** J Pediatr Orthop 5: 734–736
120. Nischal K, Chumas P, Sparrow O (1993) **Prolonged survival after atlanto-occipital dislocation: two case reports and review.** Br J Neurosurg 7: 677–682
121. Ogden JA (1982) **Skeletal injury in the child.** Lea & Febiger, Philadelphia, S 385–422
122. Ono K, Yonenobu K, Fuji T, Okada K (1985) **Atlantoaxial rotatory fixation. radiographic study of its mechanism.** Spine 10: 602–608
123. Page CP, Story JL, Wissinger JP, Branch CL (1973) **Traumatic atlantooccipital dislocation. Case report.** J Neurosurg 39: 394–397
124. Pang D, Wilberger JE, Jr. (1980) **Traumatic atlanto-occipital dislocation with survival: case report and review.** Neurosurgery 7: 503–508
125. Pang D, Wilberger JE, Jr. (1982) **Spinal cord injury without radiographic abnormalities in children.** J Neurosurg 57: 114–129
126. Papadopoulos SM, Dickman CA, Sonntag VK, Rekatte HL, Spetzler RF (1991) **Traumatic atlantooccipital dislocation with survival.** Neurosurgery 28: 574–579
127. Parke WW, Rothman RH, Brown MD (1984) **The pharyngovertebral veins: an anatomical rationale for Grisel's syndrome.** J Bone Joint Surg [Am] 66: 568–574
128. Pennecot GF, Leonard P, Peyrot Des Gachons S, Hardy J, Pouliquen JC (1984) **Traumatic ligamentous instability of the cervical spine in children.** J Pediatr Orthop 4: 339–345
129. Phillips WA, Hensinger RN (1989) **The management of rotatory atlanto-axial subluxation in children.** J Bone Joint Surg [Am] 71: 664–668
130. Pizzutillo PD, Mirenda W, Macewen GD (1986) **Posterolateral fusion for spondylolisthesis in adolescence.** J Pediatr Orthop 6: 311–316
131. Pouliquen JC, Pennecot GF (1983) **Progressive spinal deformity after spinal injury in children.** In: Houghton GR, Thompson GH (eds) Problematic musculoskeletal injuries in children. Butterworth & Co. London S 32
132. Powers B, Miller MD, Kramer RS, Martinez S, Gehweiler JA, Jr. (1979) **Traumatic anterior atlanto-occipital dislocation.** Neurosurgery 4: 12–17
133. Price E (1960) **Fractured odontoid process with anterior dislocation: Proceedings of the Australian Orthopaedic Association.** J Bone Joint Surg [Br] 42: 410–410
134. Ratchesky I, Boyce WT, Duncan B, Bjelland J, Sibley B (1987) **Clinical prediction of cervical spine injuries in children. Radiographic abnormalities.** Am J Dis Child 141: 199–201
135. Richards PG (1984) **Stable fractures of the atlas and axis in children.** J Neurol Neurosurg Psychiatry 47: 781–783
136. Ries MD, Ray S (1986) **Posterior displacement of an odontoid fracture in a child.** Spine 11: 1043–1044
137. Routt ML, Jr., Green NE (1989) **Jefferson fracture in a 2-year-old child.** J Trauma 29: 1710–1712
138. Roy-Camille R, Benazet JP, Saillant G, Henry P, Mamoudy P, Leonard P (1986) **Luxation traumatique occipito-atloïdienne. Interet de nouveaux signes radiologiques (a propos de deux cas).** Rev Chir Orthop 72: 303–309
139. Roy-Camille R, Saillant G, Lapresle P, Mazel C, Mariambourg G (1985) **[Surgical treatment of spinal metastases by stabilization using posterior plates screwed into the vertebral pedicles].** Rev Chir Orthop 71: 483–492
140. Ruff SJ, Taylor TK (1986) **Hangman's fracture in an infant.** J Bone Joint Surg [Br] 68: 702–703
141. Ruge JR, Sinson GP, McLone DG, Cerulloa LJ (1988) **Pediatric spinal injury: the very young.** J Neurosurg 68: 25–30
142. Sasso RC, Jeanneret B, Fischer K, Magerl F (1994) **Occipitocervical fusion with posterior plate and screw instrumentation. A long-term follow-up study.** Spine 19: 2364–2368
143. Schwarz N, Öhner T, Schwarz AF, Gerschpacher M, Meznik A (1993) **Verletzungen der Halswirbelsäule bei Kindern und Jugendlichen.** Unfallchirurg 96: 235–241
144. Seimon LP (1977) **Fracture of the odontoid process in young children.** J Bone Joint Surg [Am] 59: 943–948
145. Sherk HH, Nicholson JT, Chung SMK (1978) **Fractures of the odontoid process in young children.** J Bone Joint Surg [Am] 60: 921–924
146. Stanley P, Duncan AW, Isaacson J, Isaacson AS (1985) **Radiology of fracture-dislocation of the cervical spine during delivery.** Am J Roentgenol 145: 621–625
147. Stillwell WT, Fielding JW (1978) **Acquired os odontoideum. A case report.** Clin Orthop 135: 71–73

148. Stroobants J, Seynaeve P, Fidlers L, Klaes R, Brabants K, Van Hoye M (1994) **Occipital condyle fracture must be considered in the pediatric population: case report.** J Trauma 36: 440–441
149. Sudeck P (1923) **Über die Drehungsverrenkung des Atlas.** Deutsche Zeitschr Chir 183: 289–303
150. Sullivan CR, Bruwer AJ, Harris LE (1958) **Hypermobility of the cervical spine in children: A pitfall in the diagnosis of cervical dislocation.** Am J Surg 95: 636
151. 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
152. Swischuk LE (1969) **Spine and spinal cord trauma in the battered child syndrome.** Radiology 92: 733–738
153. Swischuk LE (1977) **Anterior displacement of C2 in children: physiologic or pathologic?** Pediatr Radiol 122: 759–763
154. Taylor TKF, Hall F, Ryan M (1987) **Odontoid fractures in children.** J Bone Joint Surg [Am] 69: 167–167
155. Townsend EHJr, Rowe ML (1952) **Mobility of the upper cervical spine in health and disease.** Pediatrics 10: 567–578
156. Töndury G, Tillmann B (1987) **Rumpf.** In: Tillmann B, Töndury G (Hrsg) Bewegungsapparat. Thieme, Stuttgart, S 175–307
157. Traynelis VC, Marano GD, Dunker RO, Kaufman HH (1986) **Traumatic atlanto-occipital dislocation. Case report (published erratum appears in J Neurosurg 1987 may; 66(5):789).** J Neurosurg 65: 863–870
158. van Laer L (1986) **Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter.** Thieme, Stuttgart
159. Vining DJ, Benzel EC, Orrison W (1992) **Childhood odontoid fractures evaluated with computerized tomography. Case report.** J Neurosurg 77: 795–798
160. Watson-Jones R (1955) **Fractures and joint injuries.** Williams & Wilkins, Baltimore
161. Werne S (1957) **Studies in spontaneous atlas dislocation.** Acta Orthop Scand [Suppl] 23
162. White AA, Panjabi MM (1990) **Biomechanical considerations in surgical management of the spine.** In: White AA, Panjabi MM (eds) Clinical biomechanics of the spine. Lippincott, Philadelphia, S 618–618
163. Wholey MH, Bruwer AJ, Baker HL (1958) **The lateral roentgenogram of the neck.** Radiology 71: 350–356
164. Wippermann B, Blauth M, Schratz HE (1998) **Tumoren der Wirbelsäule.** In: Tscherne H, Blauth M (Hrsg) Tscherne Unfallchirurgie Wirbelsäule. Springer, Berlin Heidelberg, S 401–411
165. Wittek A (1908) **Ein Fall von Distensionsluxation im Atlanto-epistropheal-Gelenke.** Münchner Med Wochenschr 55: 1836–1837
166. Woodring JH, Selke AC, Duff DE (1981) **Traumatic atlantooccipital dislocation with survival.** Am J Roentgenol 137: 21–24
167. Zilch H (1977) **Traumatische atlantooccipitale Verrenkung.** Chirurg 48: 417–421