

MEDIZINISCHE FAKULTÄT DER UNIVERSITÄT
REGENSBURG

KLINIK FÜR UNFALLCHIRURGIE, ORTHOPÄDIE UND
SPORTMEDIZIN

KRANKENHAUS BARMHERZIGE BRÜDER
AKADEMISCHES LEHRKRANKENHAUS DER UNIVERSITÄT
REGENSBURG

LEITUNG: PROF. DR. MED. BERND FÜCHTMEIER

**DIE OPERATIVE VERSORGUNG VON
VERLETZUNGEN DER HALSWIRBELSÄULE –
EINE RETROSPEKTIVE ANALYSE VON 188
FÄLLEN BEI 181 PATIENTEN**

Inaugural – Dissertation zur
Erlangung des Doktorgrades der Medizin
der
Medizinischen Fakultät der
Universität Regensburg

vorgelegt von
Markus Eckert
2012

Widmung

Für meine Eltern, die mir meinen Beruf ermöglicht haben,

und für meine Familie

MEDIZINISCHE FAKULTÄT DER UNIVERSITÄT
REGENSBURG

KLINIK FÜR UNFALLCHIRURGIE, ORTHOPÄDIE UND
SPORTMEDIZIN

KRANKENHAUS BARMHERZIGE BRÜDER
AKADEMISCHES LEHRKRANKENHAUS DER UNIVERSITÄT
REGENSBURG

LEITUNG: PROF. DR. MED. BERND FÜCHTMEIER

**DIE OPERATIVE VERSORGUNG VON
VERLETZUNGEN DER HALSWIRBELSÄULE –
EINE RETROSPEKTIVE ANALYSE VON 188
FÄLLEN BEI 181 PATIENTEN**

Inaugural – Dissertation zur
Erlangung des Doktorgrades der Medizin
der
Medizinischen Fakultät der
Universität Regensburg

vorgelegt von
Markus Eckert
2012

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Dr. Torsten E. Reichert

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Bernd Füchtmeier

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Pompiliu Piso

Tag der Promotion: 10.09.2012

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	7
1.1 Geschichte der Wirbelsäulenchirurgie	7
1.2 Entwicklung und Anatomie	9
1.3 Pathophysiologie und Frakturformen	20
1.4 Begleitverletzungen	25
1.5 Diagnostik	26
1.6 Behandlungsmöglichkeiten	35
1.7 Ziel der vorliegenden Arbeit	46
2. Material und Methoden	47
2.1 Patienten	47
2.2 Datenerhebung	47
2.3 Nachuntersuchungsmethoden	49
3. Ergebnisse	51
3.1 Obere HWS	51
Fragebogenauswertung	51
Klinische Nachuntersuchung	61
Radiologische Ergebnisse	61
Komplikationen	64
3.2 Untere HWS	67
Fragebogenauswertung	67
Klinische Nachuntersuchung	75
Radiologische Ergebnisse	76
Komplikationen	80

4. Diskussion	81
4.1 Obere HWS	81
4.2 Untere HWS	88
5. Zusammenfassung	101
6. Anhang	104
7. Literaturverzeichnis	113
8. Danksagung	120
9. Erklärung	121

1. Einleitung

Die Verletzung der Halswirbelsäule ist eine sehr schwerwiegende Verletzung, die früher aufgrund mangelnder Versorgungsmöglichkeiten als „gebrochenes Genick“ meistens zu schweren, unheilbaren Lähmungen oder sogar zum Tode führte.

In den letzten drei Jahrzehnten konnte allerdings dank der rasanten Entwicklung der Traumatologie, v.a. der Wirbelsäulenchirurgie, aber auch der Anästhesie, ein großer Schritt in Richtung suffizienter operativer Behandlung gemacht werden.

In den vergangenen Jahrzehnten haben die Hochrasanztraumen mit Wirbelsäulenverletzungen aufgrund hochentwickelter Transportmittel deutlich zugenommen. 3 - 6% der Skelettverletzungen betreffen die Wirbelsäule [56,74]. Ein Viertel der relevanten Wirbelsäulenverletzungen und 55% aller Verletzungen der Wirbelsäule mit neurologischen Schäden betreffen die HWS [5,39,90]. Am meisten betroffen sind hier die Segmente HWK 5-6 und HWK 6-7 [52,64].

Pro Jahr verletzen sich ca. 1600 Personen an der Wirbelsäule. Von 1976 bis Ende 2000 gab es bei 29 000 Patienten eine Querschnittlähmung, 71% davon traumatisch bedingt [1]. Etwa die Hälfte der Wirbelsäulen- und Rückenmarkverletzungen wird durch Verkehrsunfälle verursacht, gefolgt von Stürzen aus größerer Höhe [20,94].

Ein Fünftel aller Polytraumatisierten und ein Zehntel aller Mehrfachverletzten weist eine Beteiligung der Wirbelsäule auf, davon haben 40% der zervikalen und 20% der lumbalen Verletzungen neurologische Begleitsymptomatik [90]. 24% der tödlich Verunglückten im Straßenverkehr haben eine Verletzung der oberen HWS bzw. des kraniozervikalen Übergangs [9,35].

1.1 Geschichte der Wirbelsäulenchirurgie

Eine erste Erwähnung über das klinische Bild einer Rückenmarksverletzung findet sich in einem alten ägyptischen Papyrus etwa 3000 v. Chr. [31]. Es handelt sich dabei um die Beschreibung der Kardinalsymptome Rückenmarksdurchtrennung aufgrund einer Wirbeldislokation oder -fraktur. Die

diagnostischen Merkmale wurden im Edwin Smith' Papyrus wie folgt angegeben:

„Wenn du einen Mann untersuchst, der eine Dislokation eines Halswirbels hat, so solltest du ihn deswegen seiner Arme und Beine nicht bewusst finden, während sein Glied erigiert ist und ohne sein Wissen Samen aus seinem Glied tropft; sein Fleisch hat Wind empfangen; seine Augen sind blutunterlaufen; - dann solltest du von ihm sagen: Er hat eine Halswirbeldislokation; da er Arme und Beine nicht empfindet und sein Samen tropft: Eine Krankheit, die nicht behandelt werden kann. " "

Es waren Empfehlungen für Zerrungen der Halswirbelsäule, Verrenkungen eines Halswirbelkörpers mit Tetraplegie sowie Verschiebungen und Berstungsbrüche eines Halswirbelkörpers mit Paraplegie. Verletzungen mit neurologischen Ausfällen sollten damals aufgrund der Aussichtslosigkeit auf Erfolg überhaupt nicht behandelt werden, der Arzt musste sogar Strafen befürchten.

Ab ca. 100 v. Chr. bis in das 18. Jahrhundert wurden fast ausschließlich posttraumatische thorakolumbale Gibbusbildungen beseitigt – mit teilweise äußerst heroischen Mitteln wie Streckbank und direkten Druck auf den Knick oder einem Holzbrett als Schienung nach der Reposition. *Fabrizius von Hilden* beschrieb 1669 erstmals eine offene Reposition mit einer an den Dornfortsätzen angebrachten Zange [51]. Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts wurden lediglich Knochenfragmente und Geschosse aus der Wirbelsäule entfernt – dies waren die einzigen Eingriffe an der Wirbelsäule.

1814 führte der Londoner Chirurg *Cline* die erste Laminektomie durch, 1891 wird die erste operative Stabilisierung der Wirbelsäule durch *Hadra* beschrieben. Er schlang einen Silberdraht mehrfach um die Dornfortsätze von HWK 6 und 7, um eine 1 Jahr alte, rezidivierende Luxationsfraktur zu stabilisieren. Durch Erreichen einer brauchbaren Röntgentechnologie ab 1925 und natürlich der modernen Verfahren wie CT und MRT konnten auch die Therapiekonzepte ausgebaut werden. Für die Wirbelsäule wurden verschiedene Methoden zur operativen Stabilisierung ausprobiert, der Fixateur interne nach *Dick* [39] und *Kluger* [65] stellt heute den Standard in Europa dar. Parallel dazu wurden auch ventrale Stabilisierungstechniken entwickelt, z.B. die direkte

Zugschraubenosteosynthese des Dens axis durch *Magerl* [79] und auch *Böhler* [22, 23, 24, 28].

1958 wurde durch *Cloward* [36] und *Smith* und *Robinson* [108] sowie 1960 von *Bailey* und *Badgley* [15] der vordere Zugang mit interkorporeller Spondylodese für die untere HWS propagiert.

Seit Anfang der 70er Jahre wurde diese Technik durch *J. Böhler* [21, 26], *Orozco* und *Llovet* [91] *Tscherne* et al. [113], *Senegas* [106], *Senegas* und *Gauzere* [107], sowie *Bell* [16] weiterentwickelt, indem sie zur Stabilisierung des jeweiligen Segmentes und auch zur Sicherung des interkorporellen Spanes eine ventrale Platte aufbrachten. Dadurch erreichten sie eine ausreichende Stabilität und verhinderten eine Dislokation des Knochenspanes ohne zusätzliche äußere Ruhigstellung [4, 53].

Auch die dorsalen Osteosynthesen haben sich deutlich gebessert und lösen mit speziellen Platten die weniger stabilen Cerclagen ab [48, 57, 58].

Inzwischen gibt es für alle Abschnitte dorsale und auch ventrale Standardzugänge [77] und OP-Verfahren mit einer Vielzahl an Implantaten. Deshalb ist für den Operateur die genaue Kenntnis der Anatomie und des Verletzungsmechanismus, sowie eine einwandfreie und vollständige Diagnostik und Klassifikation unabdingbar, um durch sicheres Beherrschen der chirurgischen Technik eine suffiziente Stabilisierung der HWS zu erreichen.

1.2 Entwicklung und Anatomie

Für ein genaueres Verständnis der Pathomechanismen der Halswirbelfrakturen, der Diagnostik und auch der Therapie, ist es unerlässlich, sich mit der Entwicklung und v.a. der Anatomie der Wirbelsäule, speziell der Halswirbelsäule, und den angrenzenden Strukturen zu beschäftigen.

Ca. in der 4. Embryonalwoche entsteht um die Chorda dorsalis herum durch Ausschwärmen von Mesenchymzellen aus den Sklerotomen eine segmental gegliederte Mesenchymscheide, aus der durch Umbauvorgänge die Wirbelsäule hervorgeht. Zunächst ist jedes Mesenchymsegment in einen etwas lockerer gebauten (zellarm) kranialen und einen kompakteren (zellreich) kaudalen Abschnitt gegliedert, dazwischen liegen die Intersegmentalspalten mit den

Intersegmentalarterien. Während der weiteren Entwicklung verbinden sich die kranialen Anteile des eines Segmentes mit den kaudalen Anteilen des anderen Segmentes und liefern das Ausgangsmaterial für die Wirbelkörperbildung. Die Zwischenwirbelscheiben entstehen intrasegmental zwischen den zellarmen und den zellreichen Segmenten. Die Wirbelbögen und Querfortsätze bilden sich mehr dorsal und lateral aus dem Gewebe der locker aufgebauten Segmentabschnitte.

Aufgrund dieser Entwicklung sind die Wirbel gegenüber den segmental angeordneten Muskelanlagen um eine Segmenthälfte verschoben, d.h. dass jeder Segmentmuskel an 2 getrennten Wirbeln inseriert. Dadurch werden einerseits die Voraussetzungen für die Wirbelsäulenbeweglichkeit geschaffen. Andererseits gelangen die Spinalnerven durch das sich bildende Foramen intervertebrale an die ihnen zugeordnete Muskelanlage.

Sklerotommaterial aus dem 1. Halswirbel (Atlas) wird zur Bildung des Dens axis des 2. Halswirbels (Axis) verwendet, der Dens und der Axiskörper verknöchern selbständig.

Die Chorda dorsalis wird bis auf kleine Reste, aus denen die Nuclei pulposi und das Lig. apicis dentis gebildet werden, vollständig abgebaut.

Die beiden nach dorsal gerichteten Neuralfortsätze vereinigen sich während des mesenchymal-blastematösen Stadiums zu den Wirbelbögen.

In der 2. Hälfte des 3. Entwicklungsmonats (5 cm SSL) sind alle Teile der Wirbelsäule angelegt, die Verknorpelung/Verknöcherung findet in kraniokaudaler Richtung statt. Jeder Wirbel entwickelt dabei 3 Ossifikationszentren, ein enchondrales im Wirbelkörper und zwei perichondrale in den Wirbelbögen. Der Wirbelbogen schließt sich nach dem 1. Lebensjahr, die knöchernen Randleisten treten im 12. – 14. Lebensjahr auf. Zu dieser Zeit bilden sich auch sekundäre Ossifikationszentren an den Spitzen der Querfortsätze und des Dornfortsatzes. Ein einheitlicher Knochen entsteht erst um das 25. Lebensjahr [101].

Die Wirbelsäule bildet das verbindende Element zwischen Kopf, Rumpf und Becken. Sie dient der Lastübertragung, der Bewegung und dem Schutz des Rückenmarks. Sie besteht in abwechselnder Folge aus knöchernen Wirbeln und aus faserknorpeligen Zwischenwirbelscheiben (Bandscheiben), welche von

kräftigen Bändern und von mächtigen Muskel-Sehnen-Platten zusammengehalten werden. Ihr Kreuzbeinabschnitt bildet einen Teil des Beckens. Im Wirbelkanal (*Canalis vertebralis*) geschützt liegt das Rückenmark mit seinen Hüllen, die Wurzeln der Spinalnerven, Venenplexus und Fettgewebe. Er wird von den dorsalen Flächen der Bandscheiben, dem hinteren Längsband und den Ligg. flava begrenzt.

Die Wirbelsäule besteht normalerweise aus 33 Wirbeln:

- 7 Halswirbel
- 12 Brustwirbel
- 5 Lendenwirbel
- 5 Kreuzwirbel (verschmelzen zw. 20. und 25. Lebensjahr zum Kreuzbein)
- 4 Steißwirbel (verschmelzen zw. 20. und 25. Lebensjahr zum Steißbein)

Nach kaudal werden die Wirbelkörper entsprechend der zunehmenden Belastung der Wirbelsäule grösser, die Zwischenwirbelscheiben (*Disci intervertebrales*) dienen dabei als mechanische Puffer.

Alle Wirbel haben eine gemeinsame Grundform, die jedoch je nach Wirbelsäulenabschnitt entsprechend den statischen und dynamischen Erfordernissen variiert:

Ventral liegt der mehr oder weniger zylindrische Wirbelkörper (*Corpus vertebrae*), welcher hauptsächlich aus Substantia spongiosa und einer äußeren sehr dünnen Substantia corticalis besteht. Untere und obere Kortikalis werden *Grund-* und *Deckplatte* genannt, ihre verdickten Ränder *Randleisten*. Gefäße treten durch unterschiedlich große Foramina in den Wirbelkörperwänden ein und aus.

Nach dorsal setzt sich der Wirbelkörper über die Bogenwurzeln (*Pediculi arcuum vertebrarum*) in den Wirbelbogen (*Arcus vertebrae*) fort, welcher in die Bogenplatten (*Laminae arcuum vertebrarum*) mündet. Diese vereinigen sich dorsal zum Dornfortsatz (*Processus spinosus*), der je nach Wirbelsäulensegment unterschiedlich geformt ist.

Am *Pediculus* gibt es eine obere und untere Einkerbung (*Incisura vertebralis superior et inferior*), wobei die etwas seichtere obere mit der unteren Einkerbung des nächst höheren Wirbels das *Foramen intervertebrale* bildet. Nach ventral wird dieses außerdem durch die Bandscheibe, nach dorsal durch

den *Processus articularis superior* begrenzt und dient den Spinalnerven sowie den Blutgefäßen als Durchtritt.

Corpus und Arcus begrenzen das Wirbelloch (*Foramen vertebrale*), in dem das Rückenmark geschützt ist.

Vom Wirbelbogen entspringen den Muskeln als Hebelarme dienende Fortsätze (*Processi*). Einmal der schon genannte *Processus spinosus*, der nach dorsal gerichtet ist, und zum anderen die beiden Querfortsätze (*Processi transversi*). Des weiteren bildet je ein *Processus articularis superior* mit seiner *Facies articularis* mit der entsprechenden Gelenkfläche des *Processus articularis inferior* des nächst höher gelegenen Wirbels ein Zwischenwirbelgelenk (*Articulatio intervertebrales*), Die Gelenkebene ist aus der Transversalebene um 45° aufgestellt.

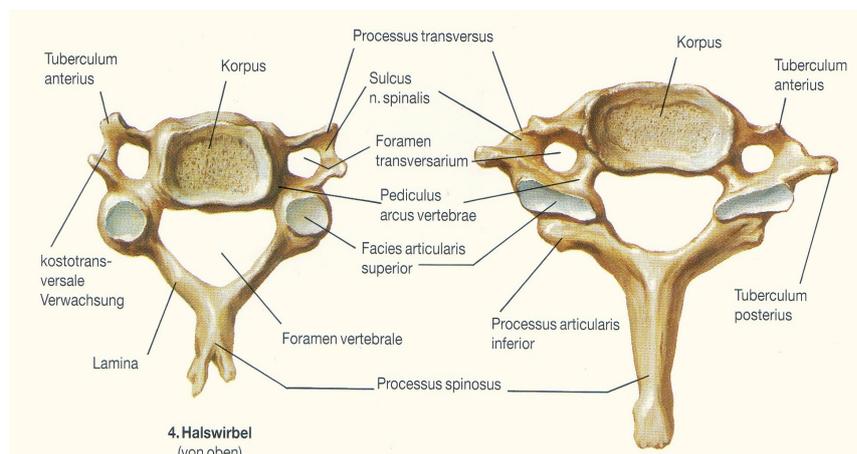


Abb. 1: Die typische Grundform der Wirbel, hier 4. und 7. Halswirbel [aus 86]

Die Halswirbel weichen von diesem Grundbauplan teilweise stark ab.

Der 1.Halswirbel (*Atlas*, benannt nach dem Riesen, der die Erdkugel auf seinen Schultern trug), ist Träger des Schädels. Die Verbindung wird durch je ein *Atlantookzipitalgelenk* links und rechts hergestellt, welche als konkave *Facies articulares superiores* auf den *Massae laterales* sitzen und die Okzipitalkondylen aufnehmen. Der Atlas besitzt keinen eigentlichen Wirbelkörper, stattdessen aber einen kürzeren vorderen und einen längeren hinteren Bogen (*Arcus anterior et posterior*), seitlich die bereits angesprochenen *Massae laterales*. Dazwischen befindet sich das *Foramen vertebrale*, ein relativ großes Wirbelloch.

Die *Atlantoaxialgelenke* zwischen 1. und 2. Halswirbel (*Axis*) werden durch die paarweisen *Facies articulares inferiores* und die an der Rückseite des vorderen Atlasbogens gelegene *Fovea dentis*, die mit dem *Dens axis* artikuliert, gebildet. Zwischen den anteromedialen Seiten der *Massae laterales* verläuft das *Lig. transversum atlantis*, das den *Dens axis* an der *Fovea dentis* befestigt. An der Vorderseite des *Arcus anterior* befindet sich, ebenso wie an der Rückseite des *Arcus posterior*, ein Höckerchen (*Tuberculum anterius et posterius*). Seitwärts neben den *Massae laterales* bilden sich die *Processus transversi* mit den *Foramina transversaria* für die *Aa. vertebrales*, welche kranialseitig nach dorsal jeweils in eine flache Rinne, den *Sulcus arteriae vertebralis* verlaufen. Die Querfortsätze dienen den an der Kopfdrehung beteiligten Muskeln als Ansatz und Hebelarm.

Der 2. Halswirbel (*Axis*) besitzt als typisches Merkmal einen Zahn, den *Dens*. Dieser entstammt, wie bereits o.g., dem Atlas und spitzt sich zur *Apex dentis* zu. Die *Facies articularis anterior* an der *Densvorderseite* artikuliert mit der *Fovea dentis* des vorderen Atlasbogens und ermöglicht die Drehbewegungen. An der *Denshinterseite* befindet sich ebenfalls eine kleine Gelenkfläche (*Facies articularis posterior*), die durch eine Bursa vom *Lig. transversum atlantis* getrennt wird. An der *Densspitze* ist das *Lig. apicis dentis* befestigt, an den Seitenflächen die *Ligg. alaria*. Nach kaudal schiebt sich ein Vorsprung des Wirbelkörpers über den vorderen oberen Rand des 3. Halswirbels. Das *Foramen vertebrale* ist etwas enger als beim Atlas, der *Processus spinosus* ist gegabelt.

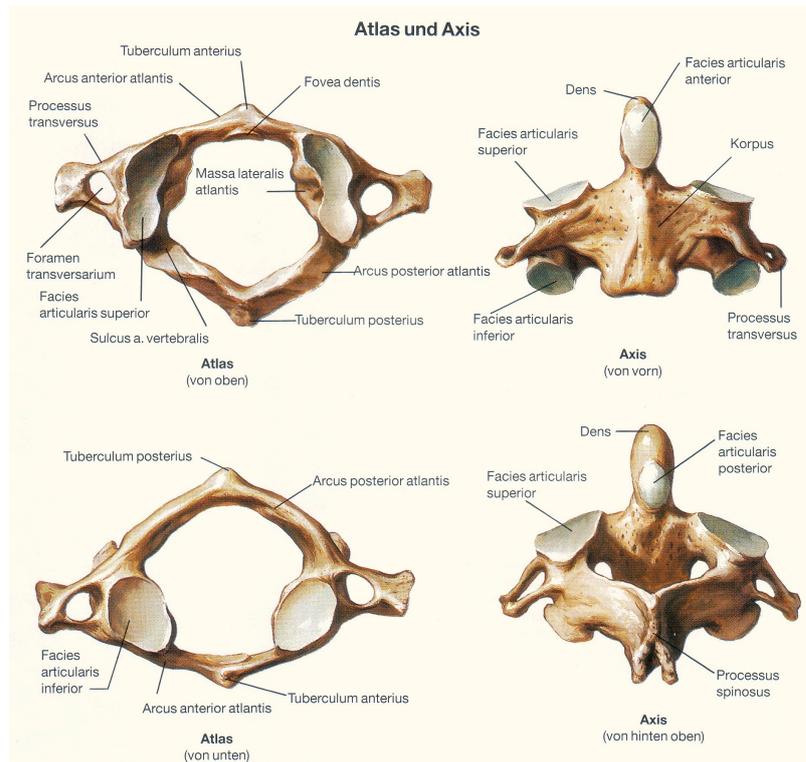


Abb. 2: Der 1. (Atlas) und der 2. Halswirbel (Axis) [aus 86]

Die Halswirbel 3-7 entsprechen weitgehend der o.g. Wirbelgrundform. Ihre Processus transversi enden in einem *Tuberculum anterius*, einem Rippenrudiment, und einem *Tuberculum posterius*, was ein Rudiment des eigentlichen Processus transversus darstellt. Zwischen beiden liegt der *Sulcus nervi spinalis*, eine Rinne, durch die die Spinalnerven austreten. Sie verlaufen hinter der A. vertebralis. Am 6. Halswirbel ist das *Tuberculum anterius* besonders stark ausgeprägt, vor ihm läuft die A. carotis communis nach oben (deshalb auch *Tuberculum caroticum*).

In den Processus transversi befinden sich Löcher, die *Foramina transversaria*. Durch sie läuft die A. vertebralis vom 1. bis zum 6. Halswirbel.

Die Processus spinosi sind kurz, gegabelt und etwas schräg nach unten gerichtet (Außer bei HWK 7, dort prominenter Dornfortsatz).

Oben lateral am Wirbelkörper findet man eine Leiste, *Uncus corporis*, welche mit dem Körper des nächst höheren Wirbels die *Uncovertebralverbindung* bilden. Sie limitiert die Lateralflexion und gestattet die Rotation.

Das *Foramen vertebrale* ist weit und fast dreieckig, im Bereich der oberen HWS füllt das Rückenmark nur etwa 35% des Durchmessers des knöchernen Spinalkanals aus.

Die Wirbel vom 2.Halswirbel bis zum Kreuzbein werden von kräftigen, faserknorpeligen Zwischenwirbelscheiben (*Disci intervertebrales*) federnd verbunden. Sie wirken als druckelastische Puffer und machen 20 – 25 % der Gesamtlänge der Wirbelsäule aus. Der gallertartige Kern (*Nucleus pulposus*) wirkt wie ein Wasserkissen und verteilt den Druck auf Grund- und Deckplatte. Er wird von einer faserknorpeligen Außenschicht (*Anulus fibrosus*) umgeben.

Die Blutversorgung des Halsmarkes und der HWS erfolgt v.a. über die beiden *Aa. vertebrales* (aus den *Aa. subclaviae*), die über die Membrana atlantooccipitalis posterior in das Schädelinnere treten. Vor ihrer Vereinigung zur *A. basilaris* geben sie aus zwei Ästen die unpaare *A. spinalis anterior* ab. Die beiden *Aa. spinalis posterior* entspringen ebenfalls aus der *A. vertebrales*.

Die Wirbelsäule weist eine doppelte S-Form auf, im Hals- und Lendenbereich eine Lordose, im BWS- und Sakralbereich eine Kyphose. Die Bandscheiben bestimmen diese Krümmungen mit, indem sie in Hals- und Lendenbereich vorne höher und im Brustbereich niedriger sind. Diese Krümmungen sind zusammen mit den viskoelastischen Eigenschaften der *Disci intervertebrales* verantwortlich für die stoßdämpfende Wirkung der Wirbelsäule. Die Bewegungen in den einzelnen Gelenken sind eher gering, in ihrer Gesamtheit erlauben sie allerdings ein großes Bewegungsausmass. Vor- und Rückwärtsneigung (*Flexion/Extension*) erfolgen v.a. in der Hals- und Lendenwirbelsäule, die Seitneigung (*Lateralflexion*) in der BWS, die Drehung (*Rotation*) hauptsächlich in den Kopfgelenken und der Brustwirbelsäule.

Die Beweglichkeit zwischen 2 Wirbeln hängt von sämtlichen Verbindungen zwischen diesen Wirbeln ab. *Junghans* [63] prägte daher den Begriff des *intervertebralen Bewegungssegmentes*. Dies stellt die kleinste morphologische und funktionelle Einheit der Wirbelsäule, auf die man die komplexen Bewegungsabläufe sinnvoll reduzieren kann, dar: Grund- und Deckplatte benachbarter Wirbel, Bandscheibe, kleine Wirbelgelenke, Band- und Muskelverbindungen, Wirbelkanal und Foramina intervertebralia mit vaskulären und zentralnervösen Elementen. Aus diesen Verbindungen resultieren 6 Freiheitsgrade (sagittal, frontal, transversal und translatorisch). Die

Bewegungsrichtung wird dabei von den kleinen Wirbelgelenken vorgegeben, die Bewegungsausmasse werden ligamentär begrenzt.

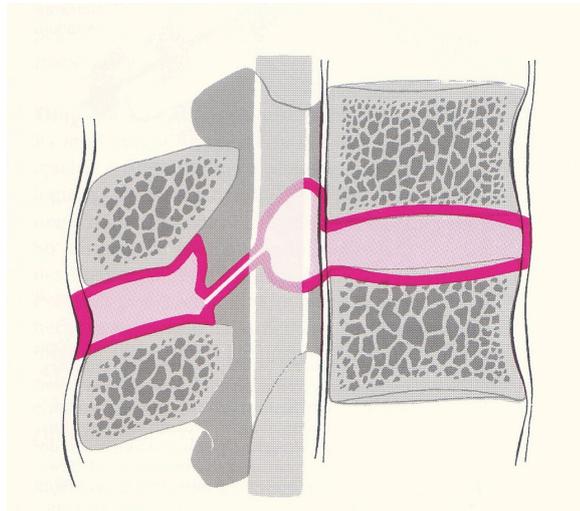


Abb. 3: Intervertebrales Bewegungssegment als kleinste morphologische und funktionelle Einheit der Wirbelsäule [63]

Das Funktionsprinzip der Wirbelsäule lässt sich mit einem Baukran vergleichen. Dabei entspricht die ventrale Säule mit Wirbelkörpern und Bandscheiben dem Krankörper und überträgt die Drucklasten, die dorsalen Strukturen fangen wie das Zugseil des Kranes die Zugkräfte ab. Bei traumatischen Verletzungen wird dieses Wirkungsprinzip mehr oder weniger außer Kraft gesetzt.

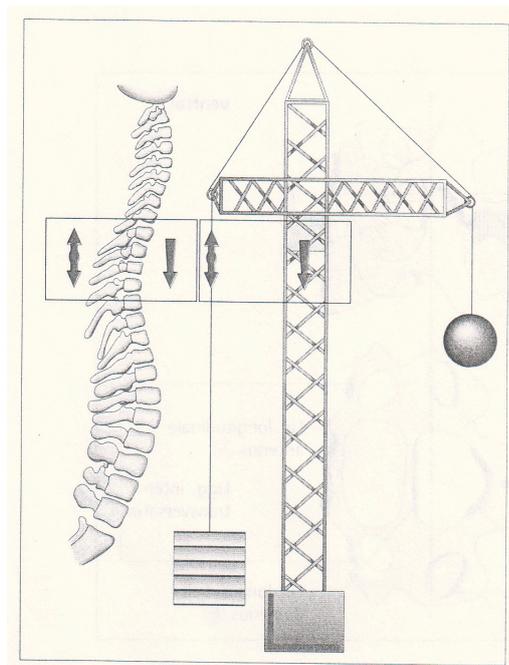


Abb. 4: Das Funktionsprinzip der Wirbelsäule lässt sich mit einem Baukran vergleichen [9]

Ähnlich beschrieb auch *Whitesides* [125] die ventralen Druck- und dorsalen Zugkräfte in seinem *Zweisäulenmodell*. Dabei besteht die vordere Säule aus den Wirbelkörpern und den Bandscheiben, die hintere Säule aus den Wirbelbögen, -fortsätzen und Bändern.

Louis [76] beschreibt ein 3-Säulenmodell mit 1 vorderen und 2 hinteren Säulen. Dieses System (mit Ausnahme des Atlas) wird durch drei sog. Brücken (beide Pedikel und die Lamina) vervollständigt und zusätzlich stabilisiert.

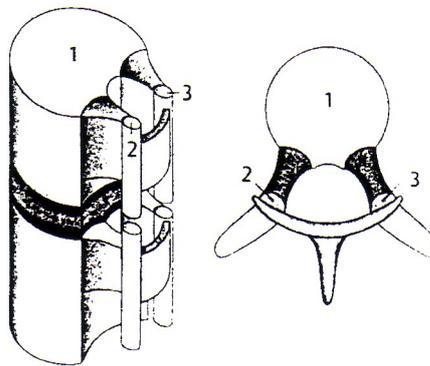


Abb. 5: Drei-Säulenmodell nach Louis (1: Wirbelkörper; 2 + 3: Gelenkmassiv/-fortsätze)

Die funktionellen anatomischen Besonderheiten der HWS sollen im Folgenden erläutert werden.

Die Halswirbelsäule wird in einen oberen Abschnitt (HWK 0 bis HWK 2-3) und einen unteren (HWK 3 bis HWK 7-BWK 1) eingeteilt.

Insgesamt verbinden den Schädel 6 Gelenke mit der Wirbelsäule, sie sind eine funktionelle Einheit zur Bewegung des Kopfes und werden „Kopfgelenke“ genannt.

Die beiden *Atlantookzipitalgelenke* erlauben die Extension und Flexion (20° - 0° - 30°) aber eine geringe Rotation und Seitneigung. Die *Membrana atlantooccipitalis anterior*, welche vom Vorderrand des Foramen magnum zum vorderen Atlasbogen reicht, und die breitere, aber etwas dünnere *Membrana atlantooccipitalis posterior*, welche vom hinteren Anteil des Foramen magnum zum Oberrand des hinteren Atlasbogens zieht, verbinden den Schädel fest mit dem Atlas und ermöglichen eine freie und zugleich sichere Bewegung des Kopfes. Die kräftigen *Ligg. alaria* verbinden den Dens axis mit dem seitlichen vorderen Anteil des Foramen magnum und verhindern eine extreme Extension,

Rotation und Seitwärtsneigung in den Kopfgelenken. Das *Lig. cruciforme atlantis* besteht aus *Lig. transversum atlantis*, das den Dens in der *Fovea dentis* fixiert, und den *Fasciculi longitudinales superiores* bzw. *inferiores* vom 2. Halswirbelkörper zum Vorderrand des Foramen magnum bzw. zur Hinterfläche des Axiskörpers und hemmt die Überstreckung im Atlantookzipitalgelenk. Ebenfalls zum Vorderrand des Foramen magnum zieht das *Lig. apicis dentis*, welches zu den Resten der Chorda dorsalis führt und von der Densspitze ausgeht. Die Seitneigung des Kopfes hemmen die *Ligg. atlantooccipitalia lateralis*, die von den seitlichen Gelenkkapseln der Atlantookzipitalgelenke ausgehen.

Die weiteren 4 Gelenke verbinden den Atlas mit dem Axis. Das *Articulatio atlantoaxialis mediana* ist die Verbindung des Dens axis mit dem vorderen Atlasbogen, der Dens artikuliert dabei ventral (*Fovea dentis*) und dorsal (*Lig. transversum*). Die Gelenkflächen der beiden *Articulationes atlantoaxiales laterales* werden jeweils von der *Facies articularis inferior atlantis* und der *Facies articularis superior axis* gebildet. Aus diesen 4 Gelenken ist aus der Mittelstellung eine seitengleiche Rotation von 25 – 30°, eine mittlere Extension/Flexion und eine geringe Seitneigung möglich. Zusätzliche Absicherung wird durch die bandartige Wirkung der umgebenden Muskeln erreicht.

Ein derbfaseriger Sehnenstreifen, die *Membrana tectoria*, zieht von der Hinterfläche des Axiskörpers nach ventral und anterolateral zum Foramen magnum und geht dort in die Dura mater über. Es sichert den Übergang von der Medulla oblongata zum Rückenmark. Als hinteres Längsband (*Lig. longitudinale posterius*) setzt sie sich bis zum Canalis sacralis fort. Das Band liegt an der vorderen Wand des Wirbelkanals und ist mit den Bandscheiben fest verwachsen. Das vordere Längsband (*Lig. longitudinale anterius*) ist wesentlich stärker, erstreckt sich von der Pars basilaris des Os occipitale bis vorne ans Steißbein, wo es als *Lig. sacrococcygeum anterius* endet. Kranial verstärkt es die vordere Membrana atlantooccipitalis. Das kräftige Band verhindert eine zu starke Rückwärtsneigung der Wirbelsäule.

Zwischen den Laminae der benachbarten Wirbelkörper spannen sich die „gelben“ *Ligg. flava*, die v.a. aus elastischen Fasernetzen bestehen, auf und strecken die Wirbelsäule. Die *Ligg. interspinalia* und das *Lig. supraspinale*

verlaufen zwischen den Dornfortsätzen, die *Ligg. intertransversaria* zwischen den Querfortsätzen. Das kräftige Nackenband (*Lig. nuchae*), das die Hinterhaupt mit dem Lig. supraspinale der Halswirbel verbindet, dient Muskeln als Ansatz und bildet zwischen den Nackenmuskeln ein medianes Septum.

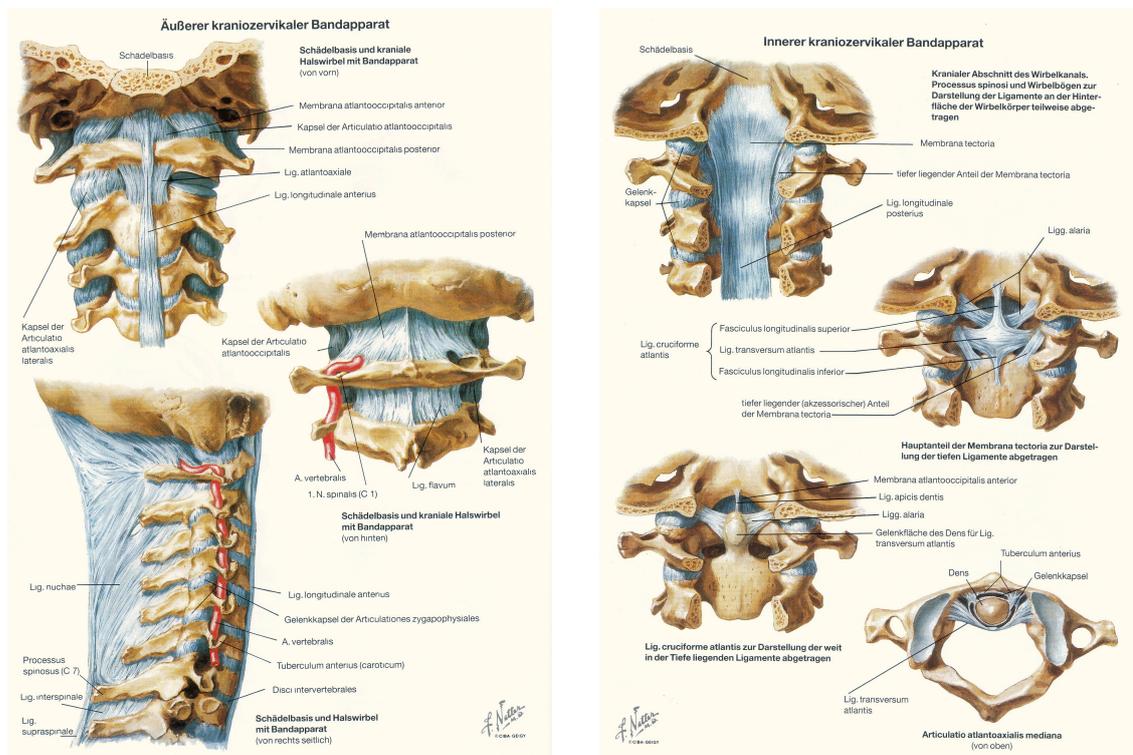


Abb. 6: Schädelbasis und Bandapparat der Halswirbelsäule [aus 86]

Die gesamten beschriebenen Strukturen vereinen eindrucksvoll zwei wichtige Eigenschaften der Halswirbelsäule, nämlich *Stabilität* und *Beweglichkeit*.

Das physiologische Bewegungsausmaß der HWS beträgt nach der Neutralnullmethode:

- Extension / Flexion 40° - 0° - 40°
- Rotation rechts / links 70° - 0° - 70°
- Seitwärtsneigung rechts / links 45° - 0° - 45°

Die Bewegungsausschläge sind in allen 3 Ebenen größer als bei der restlichen Wirbelsäule [55].

In allen Abschnitten der Wirbelsäule finden sich sogenannte Bewegungskopplungen, d.h. Nebenbewegungen der Wirbelsäule, die nicht in der Achse der Hauptbewegung liegen. Bei Seitneigung rotiert z.B. die HWS gleichzeitig in die gleiche Richtung.

Das Rückenmark selbst ist flexibel und durch die drei Rückenmarkshäute reibungsfrei im Spinalkanal gelagert und beteiligt sich an den Bewegungen der Wirbelsäule. Im Bereich der HWS erreicht es seine größte Ausdehnung.

Somit lassen sich 3 Hauptaufgaben der HWS zusammenfassen [56]:

- Übertragen von Lasten und Momenten zwischen Kopf und Rumpf
- Ermöglichen von Bewegungen zwischen Kopf und Rumpf
- Schutz des Rückenmarks vor äußeren Schäden

1.3 Pathophysiologie und Frakturformen

Ätiologie

Zu Verletzungen der Halswirbelsäule kommt es durch indirekte Krafteinwirkung über den Kopf, v.a. durch übermäßige axiale Kompressions-/Flexionskräfte, sowie durch zu starke Überstreckungs- und Rotationskräfte.

Sehr selten sind Verletzungen durch direkte Krafteinwirkung auf die Halswirbelsäule.

Stabilität – Instabilität

Stabil ist eine Verletzung, wenn keine weitere Veränderung der Stellung der Wirbelsäule in Ruhe oder bei Belastung zu erwarten ist.

Der Begriff der *Instabilität* wird verwendet, um eine breite Variabilität von Zuständen der Wirbelsäule, einschließlich klinischer, radiologischer und biomechanischer Veränderungen zu beschreiben.

Nicoll [88] hat als erster zwischen stabilen und instabilen Wirbelsäulenverhältnissen unterschieden. Diese grobe Differenzierung reicht heutzutage allerdings nicht mehr aus. Die *Instabilität* im Bereich der Wirbelsäule ist aber noch nicht klar definiert.

Es gibt mehrere beschriebene Arten der *Instabilität*:

- Klinische und biomechanische Instabilität

Die biomechanischen Untersuchungen wurden ohne die Einflussgröße „Muskulatur“ durchgeführt, in vivo ist die physiologische Belastbarkeit der Wirbelsäule noch wenig erforscht.

- Akute und traumatische Instabilität
- kinematische und anatomische Instabilität

Die Analyse einer Läsion gelingt nur dann vollständig, wenn man beide Instabilitäten berücksichtigt

- klinische Instabilität

beschrieben durch White und Panjabi [124], ist definiert als Funktionsverlust der Wirbelsäule unter physiologischen Belastungen, so dass neurologische Ausfälle, Deformitäten und Schmerz resultieren [9, 49]. Eine Zerreißung der ligamentären Strukturen führt zur eigentlichen Instabilität des Wirbelsäulensegmentes. Es handelt sich hier also um eine patientenorientierte Definition, mit der gleichzeitig wesentliche Behandlungsziele festgelegt werden.

Nach Ansicht von M. Blauth und H. Tscherne [20] sollte die Instabilität innerhalb eines Bewegungssegmentes nach den Freiheitsgraden benannt werden (z.B. „Rotations- oder Flexionsinstabilität“, „Instabilität bei axialer Kompression“). Es besteht eine breite Übergangszone zwischen sicher stabilen und sicher instabilen Verletzungen, deshalb beschreiben Blauth und Tscherne zusätzlich eine abgestufte Einteilung.

Die *diskoligamentäre Instabilität* ist eine Hypermobilität in einem Bewegungssegment, meist in der HWS, ab einer Translation a.p. > 3,5 mm, seitlicher Aufklappbarkeit > 2 mm und einer segmentalen Rotation > 20°.

Unfallmechanismen und Verletzungsarten

Nach Magerl, Harms et al. werden 3 Verletzungsarten der Wirbelsäule klassifiziert:

Typ-A-Verletzungen entstehen durch axiale Krafteinwirkungen. Wenn sie die physiologische Festigkeit des Wirbelkörpers übersteigen, kommt es zu einer plastischen Deformierung, die ausschließlich die vordere Säule betreffen und

meist ossär sind (Diskusverletzungen sind möglich). An der HWS sind Typ-A-Läsionen mit 20% selten [9].

Typ-B-Verletzungen sind meist durch Krafteinwirkungen in Flexion, seltener in Extension bedingt. Bei Hyperflexion kommt es zu einer Distraction im dorsalen, bei Hyperextension im ventralen Ligamentkomplex. Bei diesen Verletzungen handelt es sich meist um ligamentäre Läsionen zweier oder aller drei Säulen, transossäre Verletzungsformen sind selten. Diese Verletzungsform tritt am häufigsten im unteren HWS-Bereich auf, v.a. HWK 6/7 [9]. Der radiologisch festgestellte Dislokationsgrad korreliert dabei nicht mit dem Ausmaß der neurologischen Ausfälle.

Typ-C-Verletzungen entstehen durch komplexe Krafteinwirkungen mit Rotationskomponenten, meist auch noch kombiniert mit Kompression und Flexion, was zu einer hohen Instabilität durch segmentale Schädigung der diskoligamentären Strukturen aller drei Säulen führt. Durch diesen Verletzungsmechanismus sind Läsionen meist an der HWS lokalisiert, hier v.a. Typ C 2.1 (ca. 20%). Die Mehrzahl der Torsionsverletzungen ist in den beiden unteren Bewegungssegmenten lokalisiert. In 40% aller Fälle findet sich eine vorwiegend radikuläre Begleitsymptomatik [9].

An der Halswirbelsäule überwiegen Typ-B-Verletzungen.

Frakturarten und -klassifikation

Aebi und Nazarian haben eine detaillierte Einteilung der HWS-Frakturen beschrieben, unterteilt in *obere* (Atlas und Axis mit ihren Anschlüssen cranial und caudal) und *untere* (3. – 7. Halswirbel) HWS [6], s. Anhang.

Wolter [126] hat zusätzlich noch eine Klassifikation bezüglich der Einengung des Spinalkanals beschrieben:

0	keine Einengung
1	Einengung bis zu einem Drittel
2	Einengung bis zu zwei Drittel
3	Einengung über zwei Drittel

Obere HWS

Atlantookzipitale Dissoziationen sind meist noch am Unfallort tödlich. Traynelis [112] und Mitarbeiter haben 1986 folgende Klassifikation vorgestellt, die nach der Dislokation des Kopfes gegenüber der Halswirbelsäule eingeteilt ist:

- Typ 1: ventrale Dislokation; häufigste Luxationsform
- Typ 2: dorsale Luxation
- Typ 3: axiale Dislokation, meistens in Kombination mit ventraler Dislokation

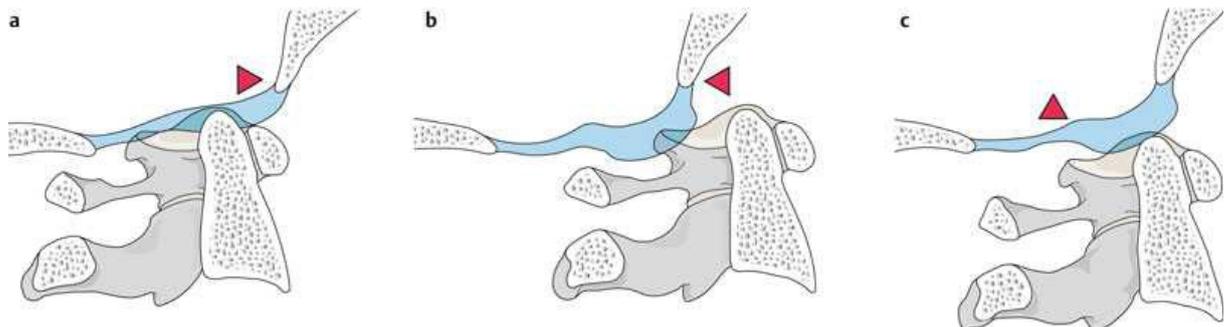


Abb. 7: Klassifikation nach Traynelis [aus 119]

Atlasfrakturen betreffen bis zu 13% der HWS-Verletzungen [73] und sind oft kombiniert mit Axisfrakturen oder Frakturen der unteren HWS. Nach Gehweiler [43] werden 5 Typen unterschieden, wobei Typ 3 die Jefferson-Fraktur mit gleichzeitiger Fraktur des vorderen und hinteren Atlasbogens darstellt.

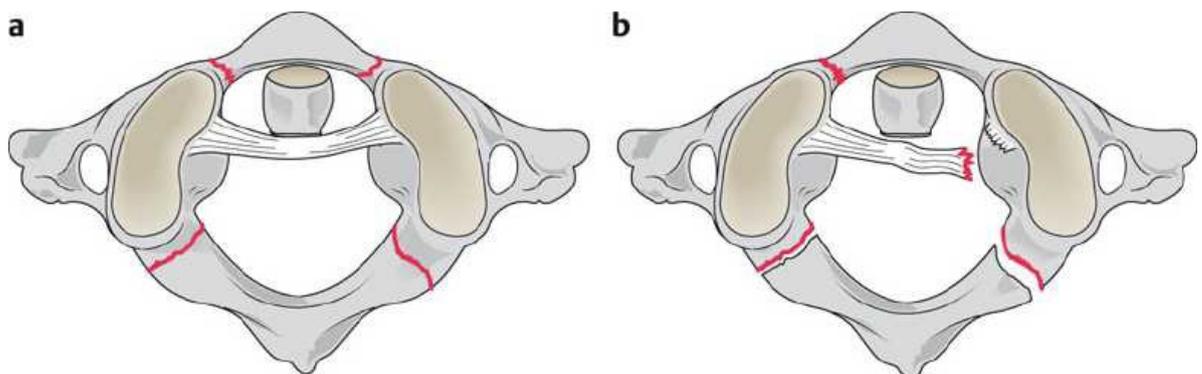


Abb. 8: Atlasfraktur [aus 119]

a Mögliche Bruchlinien bei stabiler Fraktur.

b Schemadarstellung der instabilen Fraktur mit Ausriss des Lig. transversum

Atlantoaxiale Instabilitäten sind aufgrund der hohen ossären Stabilität des C1-C2-Gelenkes selten. Gehweiler hat hier 3 Typen differenziert [43].

Die Fraktur des *Dens axis* ist mit 8% die häufigste knöcherne Verletzung eines Wirbels im Bereich der HWS [10]. Sie betreffen bis zu $\frac{1}{4}$ aller HWS-Verletzungen [73]. Anderson und D'Alonzo [8] haben sie in Abhängigkeit von der Frakturhöhe in 3 Typen unterteilt:

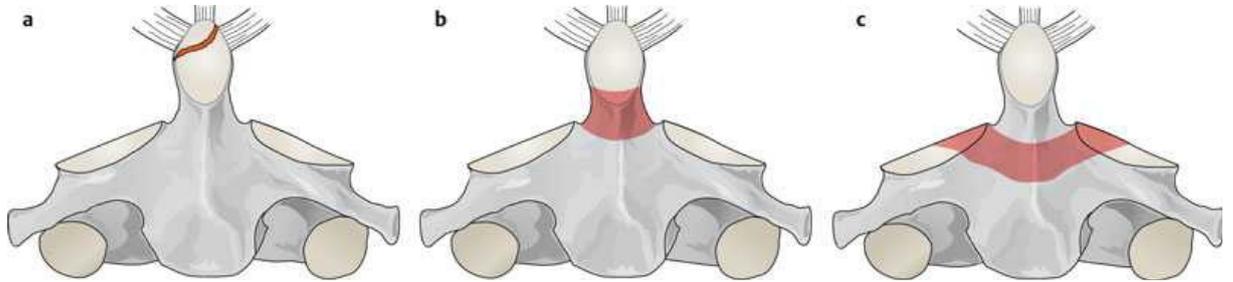


Abb. 9: Densfraktur Typ I bis III nach Anderson [8]

Die *traumatische Spondylolisthese C2* („hanged man-fracture“) ist mit 7% aller HWS-Verletzungen [73] die zweithäufigste Verletzung der oberen HWS. Hierbei wird durch die Fraktur der ventrale vom dorsalen Anteil des zweiten Halswirbels getrennt. Modifiziert nach Effendi [40] unterscheidet man 3 Typen [35]:

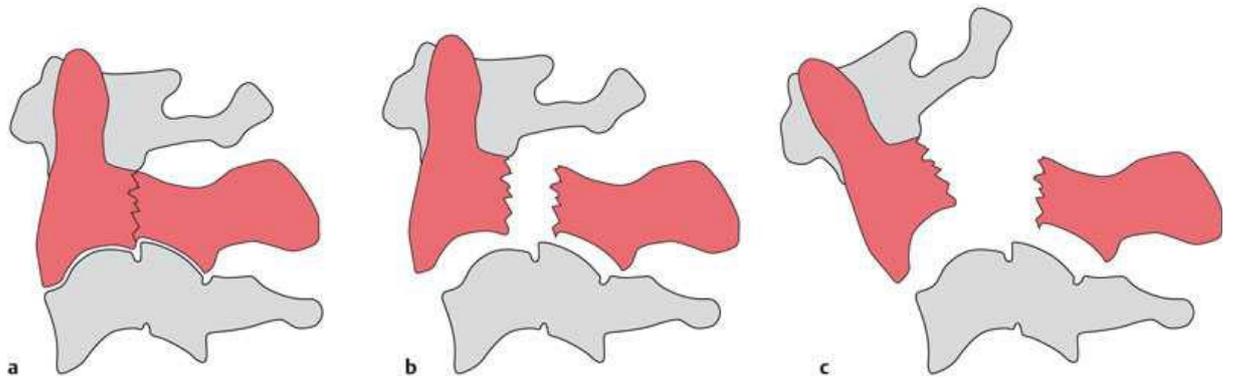


Abb. 10: Traumatische Spondylolisthese des Axis [aus 119]

a Typ 1 **b** Typ 2 **c** Typ 3 (entspricht der klassischen „hanged man-Fraktur“)

1.4 Begleitverletzungen

Isolierte Verletzungen der HWS treten in weniger als der Hälfte der Fälle auf [35]. Häufiger sind sie mit Begleitverletzungen der Weichteile, wie z.B. der Bandscheiben, der Bandverbindungen, von chondralen Bestandteilen oder von muskulären / neuromuskulären Strukturen kombiniert.

In bis zu 30% kommt es dabei zu neurologischen Ausfallserscheinungen (bei Verletzungen der unteren HWS sogar bis zu 44%) [90]. Des Weiteren kann es zu zusätzlichen Verletzungen des Schädels (25%), der Extremitäten (obere 17%, untere 10%), des Thorax (knöchern 14%, Organe 11%), von weiteren Wirbelsäulenabschnitten (11%) und von Abdomen / Becken (8%) kommen. 9% der HWS-Verletzten sind polytraumatisiert. [52,34,35,94]. 16,8% der Polytraumatisierten haben therapiepflichtige HWS-Verletzungen [12].

In 10-20% werden Schäden an Rückenmark und segmentalen Nerven bei Wirbelfrakturen beschrieben [63].

1.5 Diagnostik

Die Diagnostik einer Halswirbelsäulenverletzung besteht aus 3 Pfeilern, der *Anamnese*, dem *klinischen Befund* und der *bildgebenden Untersuchung*. Die größte Gefahr besteht in der Fehleinschätzung des Verletzungsausmaßes und der daraus folgenden inadäquaten Therapie.

Anamnese und klinische Untersuchung

Wache Unfallopfer klagen über sehr heftige Nacken- und Kopfschmerzen, oder sie haben neurologische Zeichen, die auf eine Verletzung der Halswirbelsäule hindeuten.

Am Anfang der Diagnostik steht dabei die ausführliche Anamnese mit genauer Analyse des Unfallhergangs (Zeit, Lokalisation, Art, Stärke und Richtung der Gewalteinwirkung). Bei PKW-Unfällen sollte die ungefähre Fahrgeschwindigkeit, die Deformation des Fahrzeugs, das evtl. Vorhandensein und Auslösen eines Airbags erfragt werden.

Die eingehende *klinische* Untersuchung beginnt während des Patientengesprächs und erfolgt bei entkleidetem Oberkörper des Patienten. Es muss z. B. auf eine schmerzbedingte Schonhaltung, eine Gibbusbildung der Wirbelsäule, auf ein Klaffen der Dornfortsätze und Hämatome geachtet werden. Maximaler Druck- und Schmerzpunkt, Stauchungs- und Ausstrahlungsschmerzen sollten erfragt werden. Durch die Palpation werden Konsistenzen der Haut und muskuläre Verspannungen erfasst.

Der *neurologische* Status (Ausmaß und Höhe einer evtl. Schädigung) muss sorgfältig erhoben und dokumentiert werden (Datum, Uhrzeit, genaue Beschreibung der Schädigung), um eine evtl. eintretende Verschlechterung frühzeitig erkennen zu können. Sie sollte im Vorfeld der Röntgendiagnostik durchgeführt werden, da daraus evtl. auf das verletzte und instabile Wirbelsäulensegment geschlossen werden kann und stellt das Kernstück der klinischen Untersuchung dar. Dabei werden systematisch und umfassend Motorik und Sensibilität geprüft und dokumentiert (ASIA-Erfassungsbogen).

Die Klassifikation der Rückenmarkschäden wurde durch die American Spinal Injury Association Chicago beschrieben [14]. Sie stellt ein Dokumentationsschema für neurologische Störungen nach Verletzungen der Wirbelsäule nach internationalem Konsens dar.

Dabei wird die Kraft in 5 Grade eingeteilt, wobei Kraftgrad 0 keine und 5 die volle Kraftentwicklung darstellt.

ASIA Neurological Impairment Scale [aus 38,52]:

A	komplett; keine sensible oder motorische Funktion in den sakralen Segmenten S4 und S5 erhalten
B	inkomplett; sensible Funktion unterhalb des neurologischen Niveaus und bis in die sakralen Segmente S4 und S5 erhalten
C	inkomplett; motorische Funktion unterhalb des neurologischen Niveaus erhalten; die Mehrzahl der Kennmuskeln unterhalb des neurologischen Niveaus haben einen Kraftgrad < 3 von 5
D	inkomplett; motorische Funktion unterhalb des neurologischen Niveaus erhalten; die Mehrzahl der Kennmuskeln unterhalb des neurologischen Niveaus haben einen Kraftgrad > 3 von 5
E	normal; sensible und motorische Funktion normal

Hinweise auf eine medulläre Läsion ergeben sich bei pos. Muskeleigenreflexen und schlaffer Parese, negative Muskeleigenreflexe und eine spastische Parese sprechen für eine zentrale Läsion.

Die erste neurologische Untersuchung ist die wichtigste, sie muss, wie oben bereits erwähnt, genauestens dokumentiert werden!

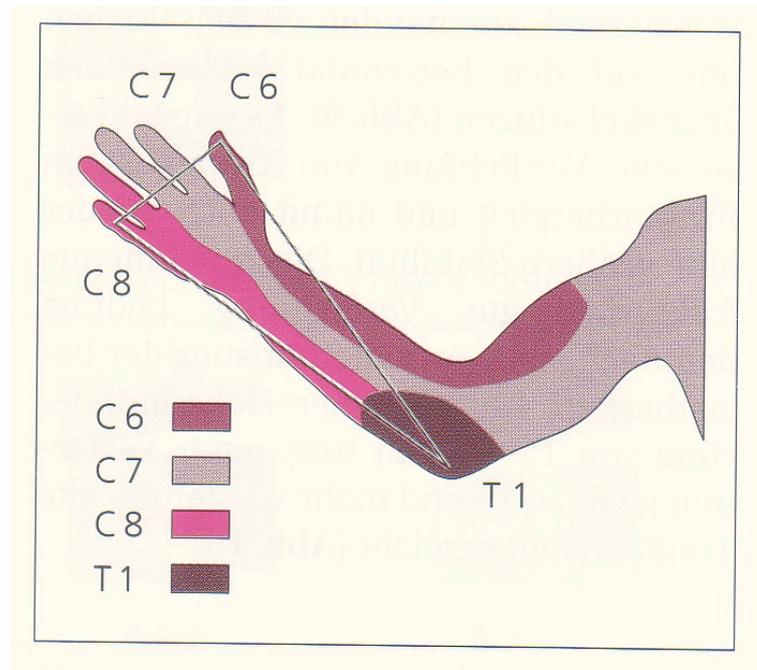


Abb. 11: neurologisches Kontrolldreieck nach Zäch [5]

Bei 10 - 15 % der neurologischen Ausfälle kann man keine knöchernen Verletzungen feststellen [93]. Hier ist an ein SCIWORA (Spinal cord injury without radiographic abnormalities) zu denken, was bei Kindern häufiger als bei Erwachsenen vorkommt [64]. Ursachen dafür sind u.a. spontan reponierte Luxationen, eine Ischämie [64], diskrete Exophytenbildung, teilweise traumatische Bandscheibenvorfälle oder Intraspinalhämatome [34]. Es muss deshalb rasch nach ligamentären und / oder diskoligamentären Verletzungen gesucht werden.

Genauso wichtig ist das Erfragen von vorbestehenden Wirbelsäulenschäden oder Schäden am zentralen und peripheren Nervensystem.

Bei der Erst- und auch bei der Kontrolluntersuchung ist auf vertebro-basiläre Symptome zu achten, das Leitsymptom ist der Schwindel.

„Der *bewusstlose* Unfallpatienten gilt solange als Wirbelsäulenverletzter, bis das Gegenteil bewiesen ist“ [29]. Schon an der Unfallstelle sollte deshalb nach der Unfallanalyse und der ersten klinischen Untersuchung an eine Verletzung der Halswirbelsäule gedacht und eine steife Halskrawatte angelegt werden. Diese verbleibt bis zum sicheren Ausschluss einer Verletzung durch bildgebende Diagnostik am Patienten [52,90]. Auch bei Vorliegen eines schweren Schädel-

Hirn-Traumas sollte man wie bei einer HWS-Verletzung vorgehen, da 20 – 45 % dieser Patienten eine Verletzung an der Halswirbelsäule aufweisen [9,99].

Bei der Untersuchung ist auf eine Abdomenatmung, eine Kontraktur oder Beugung der oberen Extremität zu achten, was auf eine Schädigung des Rückenmarks hinweisen kann.

Es sollte unbedingt auf Fehlstellungen, Stufenbildungen, Distanzierungen und einen Seitversatz der Dornfortsätze geachtet werden.

Röntgenologische Basisdiagnostik

Bei der Primärdiagnostik ist die Röntgendarstellung der gesamten HWS, einschließlich des zervikothorakalen Übergangs, wichtig. Es erfolgt die Darstellung in a.p. und im seitlichen Strahlengang mit Zentralstrahl auf die vermutete Läsion. Dabei sollte der prävertebrale Raum an der oberen HWS 7mm, an der unteren HWS 2mm nicht überschreiten.



Abb. 12: Röntgenaufnahme a.p. und stl. bei Fraktur des 7. Halswirbels

Die Darstellung der oberen HWS, v.a. des Dens axis erfolgt durch den geöffneten Mund, die Röntgenaufnahmen der unteren HWS werden durch Längszug an beiden Armen oder durch eine „Schwimmeraufnahme“ durchgeführt.



Abb. 13: Densaufnahme



Abb. 14: Schwimmer-/Fechteraufnahme [aus119]

Bei Schwierigkeiten ist eine zusätzliche Diagnostik mit Tomographie oder besser mittels Computertomographie nötig.

Gelenkfortsätze und deren Verletzungen lassen sich durch Drehung um 15° aus der seitlichen Aufnahme position, die Foramina intervertebralia durch Drehung um 45° darstellen.

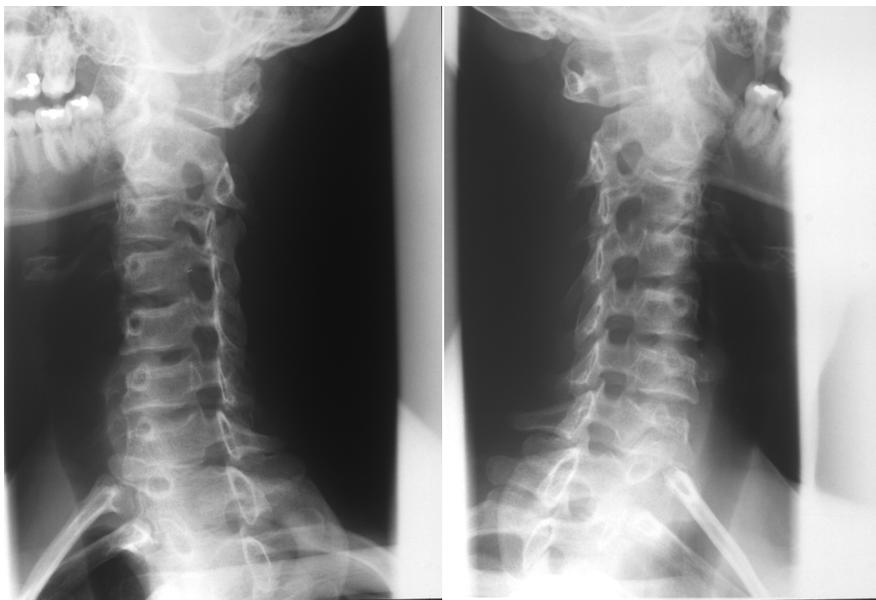


Abb. 15: Foramenaufnahmen der HWS

Durch *Funktionsaufnahmen* in maximaler Extension und Flexion kann eine ligamentäre Instabilität dargestellt werden (Aufklappen des Zwischenwirbelraumes). Sie haben gerade für die obere HWS noch einen hohen Stellenwert, insbesondere in Kliniken, in denen kein MRT zur Verfügung

steht [74]. Bei Verdacht auf eine hochgradige Instabilität muss diese Untersuchung vom Arzt unter Röntgenbildwandlerverstärkung durchgeführt werden, indem er den Kopf des Patienten unterstützt und dabei die HWS passiv bewegt.

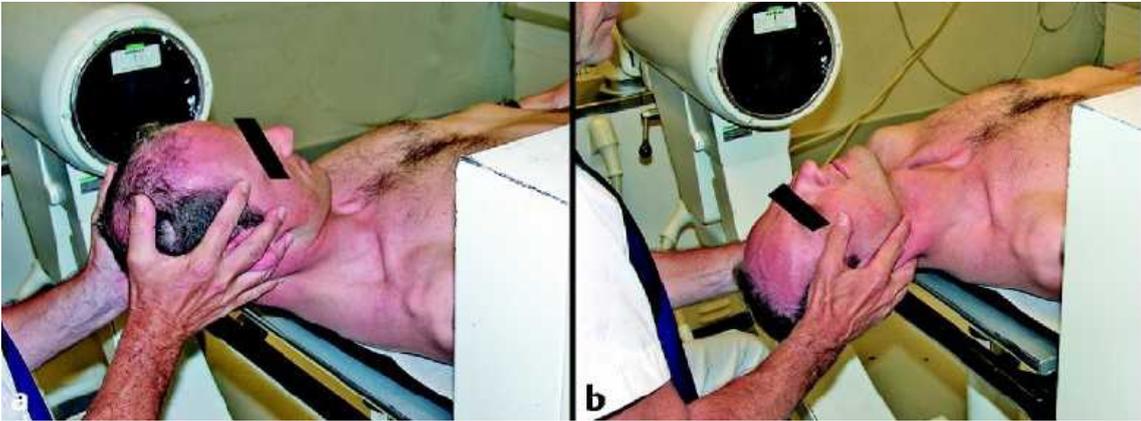


Abb. 16: Durchführung von Funktionsaufnahmen. a In Flexion. b In Extension.[aus119]

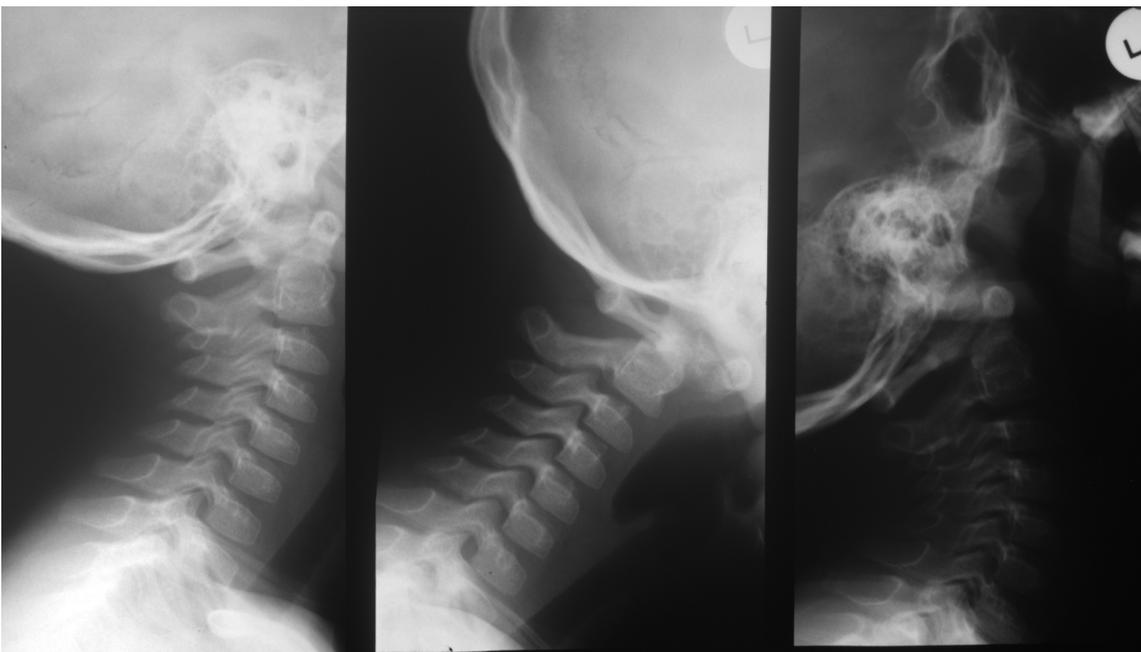


Abb. 17: Seitliche und Funktionsaufnahmen der HWS

Radiologische *Instabilitätskriterien* an der Wirbelsäule sind [9]:

- Kompression eines Wirbels > 50%
- Seitkipfung eines Wirbels >10°, Flexion >20°
- Aufspreizung des Zwischenwirbelraumes
- Verschiebung eines Wirbelkörpers zur Seite > 3 mm
- Konturunterbrechung der Wirbelkörperhinterkante
- Verschiebungen der Hinterkanten um mehr als 3,5 mm
- Höhenminderung der Wirbelkörperhinterkante
- Distanzierung und Divergenz der Dornfortsätze
- Frakturen von Bögen, Bogenwurzeln und kleinen Wirbelgelenken
- Verschiebung der Facettenanordnung der kleinen Wirbelgelenke

Weiterführende Diagnostik

Computertomographie

Mit ihr werden vor allem Verletzungen der Wirbelbogen- und Gelenkfrakturen aufgedeckt, des weiteren können knöcherne Einengungen des Spinalkanals dargestellt werden. Mit modernen Geräten (Spiral-CT) können jetzt auch eindrucksvolle dreidimensionale Rekonstruktionen errechnet und das Ausmaß der knöchernen Verletzung verdeutlicht werden. Das CT ist für die präoperative Frakturdiagnose das Mittel der Wahl und hat sich als zweiter Schritt der HWS-Diagnostik durchgesetzt [103].

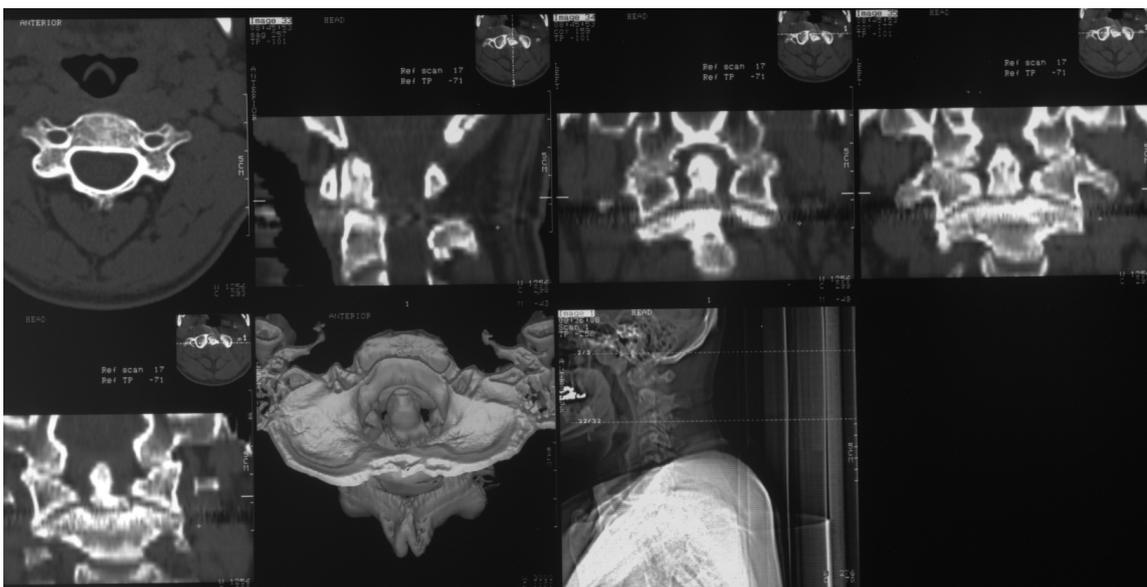


Abb. 18: CT einer Denspseudarthrose mit 3D-Rekonstruktion

Gefäßdarstellung

Aufgrund der hohen Koinzidenz von Gefäßverletzungen sowie zur Planung insbesondere der transartikulären Schraubenplatzierung C1/C2 nach Magerl sollte eine Gefäßdarstellung durchgeführt werden [74].

Magnetresonanztomographie (MRT)

Mit dieser Untersuchung können vor allem die Weichteile wie Bandscheiben und Ligamente, sowie Hämatome dargestellt werden [102]. Sie besitzt deshalb auch eine hohe Aussagekraft bezüglich Rückenmarkverletzungen und -schäden und bei mehrsegmentalen Verletzungen.

Im akuten Stadium ist die Kernspintomographie schwer einsetzbar, da Mikroblutungen nicht von Fett zu unterscheiden sind. Außerdem besteht nicht an jedem Krankenhaus oder zu jeder Uhrzeit die Möglichkeit der Untersuchung, sodass hier oft logistische Probleme vorliegen.

Das MRT ist besonders für die Darstellung von Instabilitätszeichen an der oberen HWS und im zervikothorakalen Übergang geeignet.

Bei bewusstlosen oder polytraumatisierten Patienten resultieren durch die lange Untersuchungsdauer Bewegungsartefakte bei eingeschränkter Anästhesiemöglichkeit.

Unmittelbar nach dem Trauma einsetzende neurologische Defizite sind immer Folge direkter Rückenmarkläsionen wie Ödemen oder Hämatomen und stellen keine primäre Indikation zur MRT dar [29].

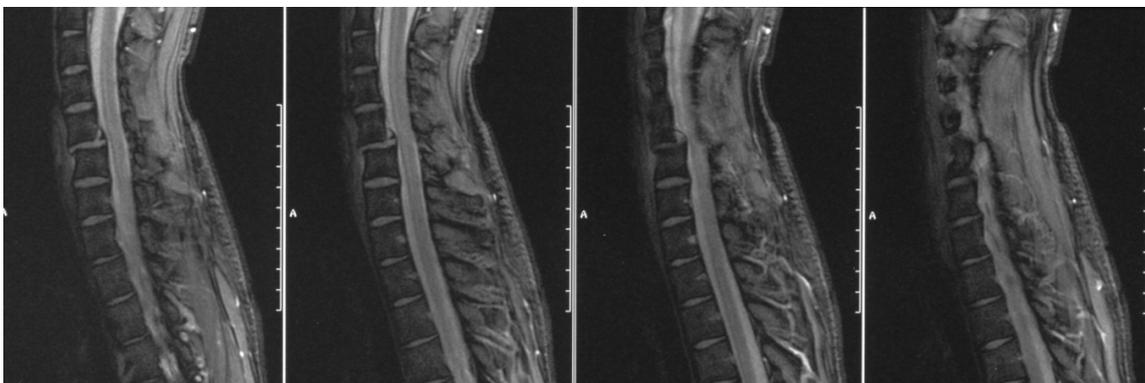


Abb. 19: MRT der HWS bei Fraktur des 5.Halswirbels

Myelographie

Sie hat bei der Akutdiagnostik an Bedeutung verloren, aber bei perispinalen Raumforderungen mit Verbindung zum Liquorraum ihre Berechtigung.

Myelo-CT

Zur Darstellung des Myelons unmittelbar nach einer Myelographie, wenn kein MRT zur Verfügung steht.

Diskographie

Mit dieser Untersuchung werden Verletzungen der Bandscheiben ermöglicht. Bei der Zerreißung der Bandscheibe tritt das Kontrastmittel nach dorsal epidural in den Spinalkanal aus.

Konventionelle Tomographie

Zum Nachweis von unverschobenen Dens- oder Gelenkfortsatzfrakturen sowie von Verletzungen am zervikothorakalen Übergang wurde früher oft eine Tomographie durchgeführt. In Zeiten von CT und auch MRT ist diese Untersuchung aber inzwischen eher obsolet.

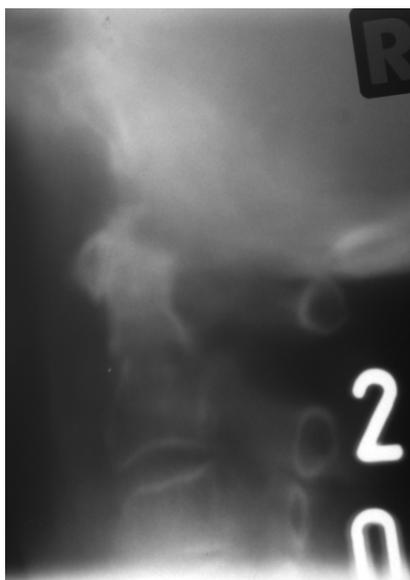


Abb. 20: Konventionelle Tomographie des Dens axis

1.6 Behandlungsmöglichkeiten

Je nach Schädigungsmuster und Lokalisation hat man die Verletzung zu klassifizieren, um therapeutische Konsequenzen zu ergreifen bzw. die Prognose abzuschätzen. Die Schädigung struktureller Wirbelsäuleneinheiten bewirkt den unterschiedlich ausgeprägten Funktionsverlust. Die Stütz- und Bewegungsfunktion wird beeinträchtigt durch Deformität und Instabilität. Der Verlust der Schutzfunktion verursacht direkt oder indirekt medulläre bzw. radikuläre Schäden. Deshalb ist es für die Ersthelfer immens wichtig, die Halswirbelsäule von Unfallverletzten, v.a. bei bewusstlosen, mit einem stiff neck zu schützen. Ob eine Halswirbelsäulenverletzung konservativ oder operativ zu behandeln ist, hängt von der Verletzungsform und von evtl. auftretenden neurologischen Symptomen ab. Die Verletzungsform bestimmt die Stabilität / Instabilität der HWS der Wirbelsäulenverletzungen und dadurch auch die Art und Dauer der Ruhigstellung.

Die Behandlungsziele sind:

- Schutz vor Verschlimmerung
- Die Wiedererlangung von Form und Stabilität der Wirbelsäule
- Die Verminderung oder Umkehr neurologischer Schäden
- Die Vermeidung chronischer Restbeschwerden durch adäquate Reposition
- Das Erreichen von Dekompression und Stabilisierung (Weg ins Ziel zu erreichen)

Eine frühfunktionelle Nachbehandlung sollte die rasche Rehabilitation des Patienten ermöglichen [56].

In Abhängigkeit vom Schweregrad der Verletzung und den neurologischen Begleitsymptomen kann man die o.g. Ziele operativ oder nicht operativ erreichen.

Rupturierte Ligamente vernarben in 20 - 40% unter Verbleib einer chronischen Instabilität und sind nach derzeitiger Auffassung genauso wie das Vorliegen von neurologischen Ausfallserscheinungen eine Indikation zur operativen Versorgung.

Konservative Therapie

Bei der konservativen Therapie von Halswirbelsäulenverletzungen muss zwischen einer vorläufigen temporären und einer definitiv endgültigen konservativen Therapie unterschieden werden. Bevor man sich zu einer definitiven nichtoperativen Maßnahme entschließt, muss nach Abklingen der Akutsymptomatik eine Instabilität durch Anfertigen von Funktionsaufnahmen ausgeschlossen werden.

Konservativ behandeln kann man HWS-Beschleunigungsverletzungen, isolierte Frakturen der Quer- und Dornfortsätze, nicht dislozierte Bogenfrakturen, isolierte Wirbelkörpervorderkantenabsprengungen, die meisten Atlasfrakturen (mit Ausnahme der Rupturen des Lig. transversum), sowie Densfrakturen Typ Anderson 1.

Neben der Frakturart spielen Frakturverlauf, Knochenqualität und auch das Alter der Patienten eine Rolle bei der Wahl des richtigen Behandlungsverfahrens.

Als *konservative Therapiemaßnahmen* kommen folgende Behandlungsmöglichkeiten zum Einsatz:

- Manuelle Reposition
- Reposition und Extensionsbehandlung im Dauerzug mittels Crutchfield- oder Gardner-Wells-Zange
- Extension und Immobilisation mit der Halo-Orthese, Camp-Kragen oder Schanz-Krawatte
- Minerva-Gipsverband

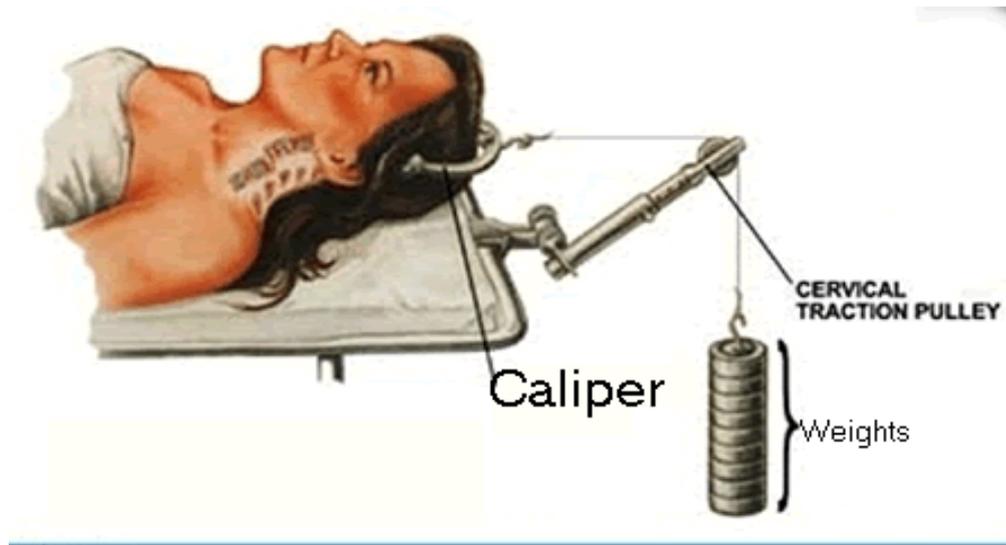


Abb. 21: Crutchfield-Extension



Abb. 22: Schanzkragen (Wichtig ist, dass das Kinn dem Kragen aufliegt), Stiff Neck mit fixierter Kinnbettung, Minerva-Gips [aus 119]



Abb. 23: a und b Halo-Weste. [aus 119]

Komplikationen

Nach Repositionsmanövern und auch nach Extensionsbehandlungen kann es zu einer Verschlechterung des neurologischen Befundes kommen. Besonders bei verhakten Verrenkungen sowie bei nicht kooperativen oder stark von Schmerzen geplagten Patienten kann die Reposition ohne Anästhesie und Relaxation nicht gelingen. Bei zu starker Reposition oder Retention im Dauerzug kann es zu einer Überdistraktion kommen. Eine weitere Komplikation stellt die Überkorrektur einer Fehlstellung im Haltegerät dar. Diese Gefahr ist vor allem dann gegeben, wenn zur Reposition einer Fehlstellung Kopf und HWS in extreme Positionen gebracht oder größere Kräfte aufgebracht werden müssen.

Es können außerdem auch Achsfehlstellungen, verbleibende Instabilitäten, Druckstellen, Redislokationen oder sekundäre Dislokationen sowie Pseudarthrosen resultieren [111]. Zum Beispiel wird nach konservativ behandelte Densfraktur Typ 2 eine Pseudarthrosenrate von 40 – 60% [1,9] und eine Redislokationsrate von bis zu 88% [55] beschrieben.

Operative Therapie

Ziel der operativen Therapie von instabilen Halswirbelsäulenverletzungen ist die anatomiegerechte Reposition der Fehlstellungen mit Dekompression bei Einengung des Rückenmarks oder der Nervenwurzeln. Dadurch soll eine frühzeitige Mobilisierung der Patienten mit deutlicher Verkürzung der Behandlungszeit und zusätzlich eine Reduktion der allgemeinen Komplikationsrate konservativer Behandlungsverfahren erreicht werden.

Bei Mehrfachverletzten erleichtert eine stabile Halswirbelsäule die Pflege und Lagerung. Durch die operative Therapie kann bei neurologischer Symptomatik der Druck auf Nervenwurzel oder Medulla durch eine effiziente Dekompression der Strukturen entlastet werden. Außerdem verhindert sie posttraumatische Instabilitäten und fortschreitende Fehlstellungen. Die operative Behandlung besteht aus *Reposition, Dekompression* und *Stabilisierung* [12,34,35].

Die *Indikationen* ergeben sich aus den vorher angesprochenen Behandlungszielen [34]:

- Verbesserung neurologischer Ausfälle
- Wiederherstellung der Stabilität (bei Typ B - und C - Verletzungen der unteren HWS) auch bei rein diskoligamentären Verletzungen, dadurch ist eine frühzeitige Mobilisation und Belastung möglich
- Anatomische Reposition
- Wiederherstellung einer schmerzfreien Funktion
- Pflegeerleichterung bei Mehrfachverletzten
- Frühmobilisierung bei Tetraplegikern
- Bei allen offenen Verletzungskomponenten

Eine *Notfall-Operation (sofort)* ist indiziert bei Komplextraumen mit Verletzungen der Halsorgane, bei spinalen Schädigungen mit zunehmender Neurologie und Lähmung nach freiem Intervall, wenn eine Dekompression Besserung verspricht, sowie bei offenen Rückenmarksverletzungen [34,35,55].

Primäre komplette Querschnittslähmungen haben durch eine sofortige Notfallversorgung keine bessere Prognose [1,9]. Nach frühzeitiger Dekompression und Stabilisierung der Wirbelsäule sind jedoch gute Erholungsraten beschrieben [74]. Bei primär inkompletten Rückenmarksverletzungen verhindert eine frühestmögliche Stabilisierung der Fraktur eine Sekundärschädigung durch Instabilität [1]. Es sollte daher bei nachgewiesener spinaler Instabilität, Dislokationen, Ödemen oder Hämatomen sofort dekomprimiert werden, da eine Differenzierung zwischen kompletter Querschnittssymptomatik und posttraumatischem neurogenen Schock nicht sicher möglich ist [9].

Eine *zügige Operation* (sobald es der Allgemeinzustand des Patienten zulässt) sollte v.a. bei Polytraumen und schweren SHT, bei radikulärer Neurologie, Cauda-equina-Symptomatik und bei hochgradiger Instabilität (Typ B und C), wenn sekundäre Schädigungen zu befürchten sind, erfolgen [9].

Elektive Eingriffe innerhalb von Tagen können bei geschlossenen irreponiblen Verletzungen, posttraumatischen Wirbeldeformitäten und traumatischen Diskusschädigungen ohne neurologische Ausfälle geplant werden [9,35].

Neuere Arbeiten haben gezeigt, dass verbleibende Einengungen und Knickbildungen über eine chronische Fehlbelastung des Rückenmarkes zu Sekundärschäden, wie z. B. die Syringomyelie, führen, die sich erst Jahre später bemerkbar machen [1].

Bei den *Operationsverfahren* unterscheidet man zwischen direkten Fragmentverschraubungen (*Osteosynthesen*) und Fusionsoperationen eines Bewegungssegmentes oder mehrerer Wirbelkörper durch Anlagerung von Spongiosa oder Einbolzen eines kortikospongiösen Spanes und Stabilisierung mittels Platten, Schrauben und / oder Cerclagen (*Spondylodesen*).

Die meisten operativen Verfahren können über einen ventralen Zugang durchgeführt werden, manchmal kommen auch zusätzliche oder alleinige dorsale Vorgehen zur Anwendung.

Vor dem Eingriff sollte die Dislokation konservativ reponiert worden sein.

Beispiele für *ventrale* Operationen:

- Kompressionsosteosynthese durch direkte Verschraubung von Densfrakturen, hier wurden auch spezielle gewebeschonende Verfahren entwickelt [87]

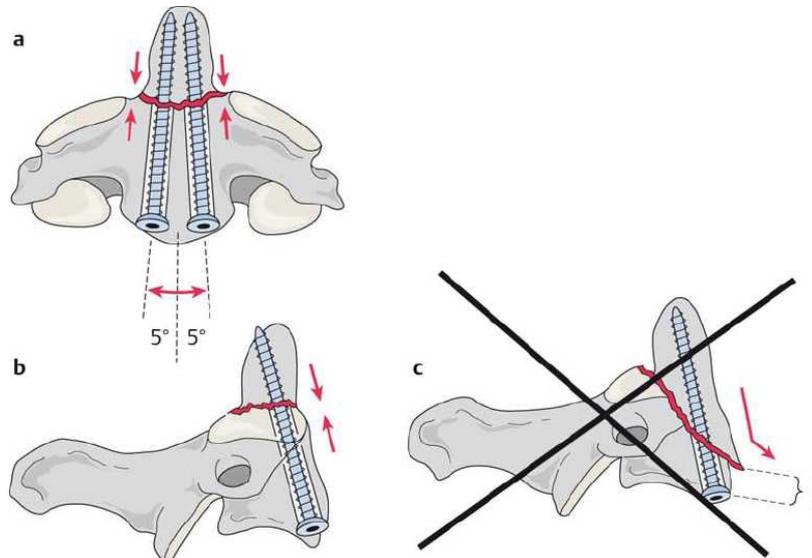


Abb. 24: Densverschraubung [aus 119] (a u. b Kompressionsschraubenosteosynthese einer Typ-II-Fraktur. c keine Schraubenosteosynthese bei schrägem Frakturverlauf)

- ventrale Spondylodese mit kortikospongiösem Span und Verplattung

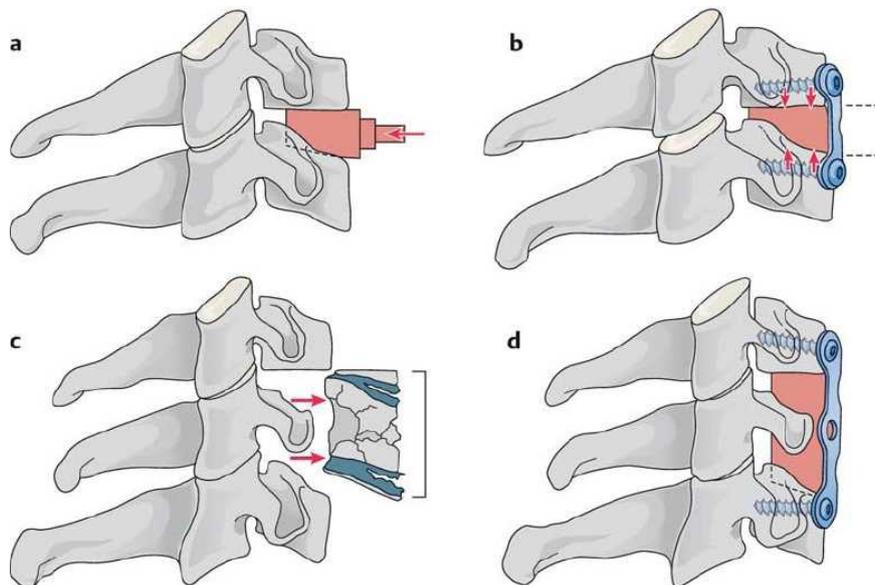


Abb. 25: Ventrale Spondylodese mit kortikospongiösem Span und Platte [aus119] (a Monosegmentale Spanimplantation. b Monosegmentale Plattenlage. c Korpektomie bei Berstungsbruch mit dorsaler Protrusion. d Bisegmentale Spondylodese ventral.)

Als Verfahren der Wahl kann heute die winkelstabile Plattenosteosynthese angesehen werden, die trotz monokortikaler Verankerung der Schrauben die gleiche Festigkeit aufweist wie bikortikal verankerte, nicht winkelstabile Platten [89].



Abb. 26: winkelstabilen Morscher-Plattensystem der Firma Synthes

Einige Beispiele für *dorsale* Operationen:

- Fusion C1/C2 mit kortikospongiosen Span nach Gallie oder Brooks [32,42]:

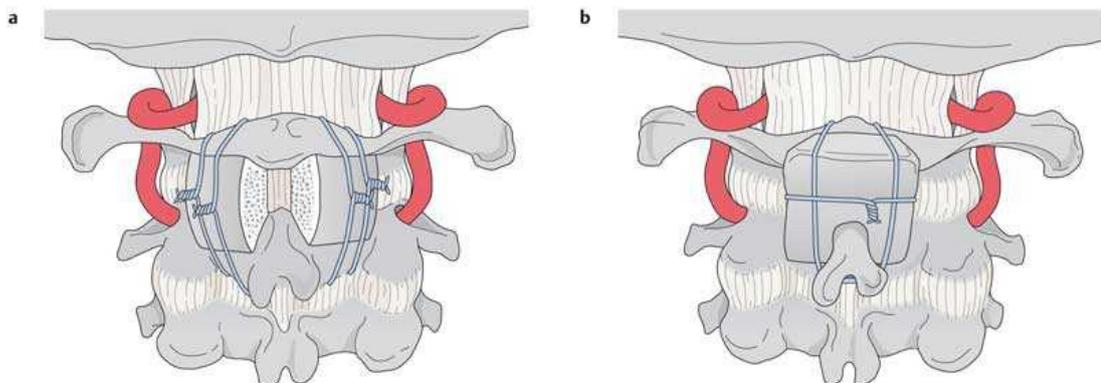


Abb. 27: Posteriore Drahtspondylodese. a Nach Brooks. b Nach Gallie [aus 119]

- Dorsale Fusion mit Hakenplatte nach Magerl bei verhakten Luxationen oder Luxationsfrakturen [48]

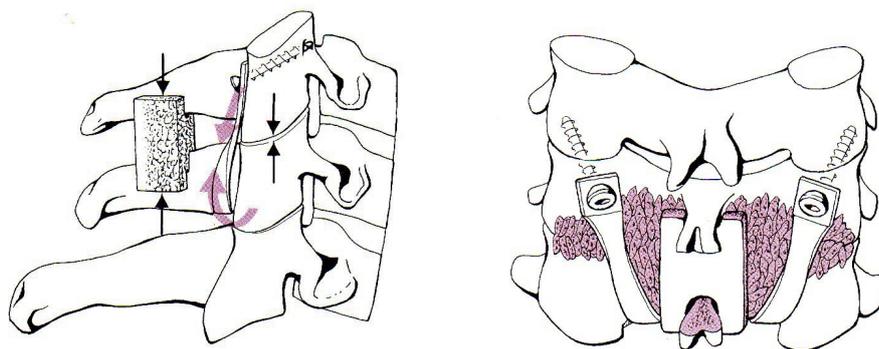


Abb. 28: Monosegmentale Hakenplattenspondylodese [aus 20]

- Verschraubung der Wirbelgelenke C1/C2 nach Magerl [46,47,79]:

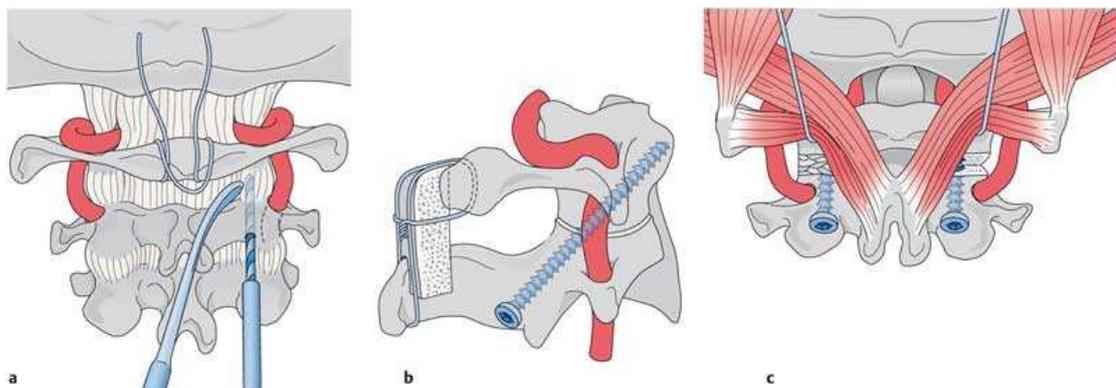


Abb. 29: (a) Präparation des C1/2-Komplexes von dorsal für die Schraubenspondylodese. Endansicht von lateral (b) und von dorsal (c) [aus 119]

- Transpedikuläre direkte Verschraubung nach Judet (C2-Isthmusfraktur) [47]:

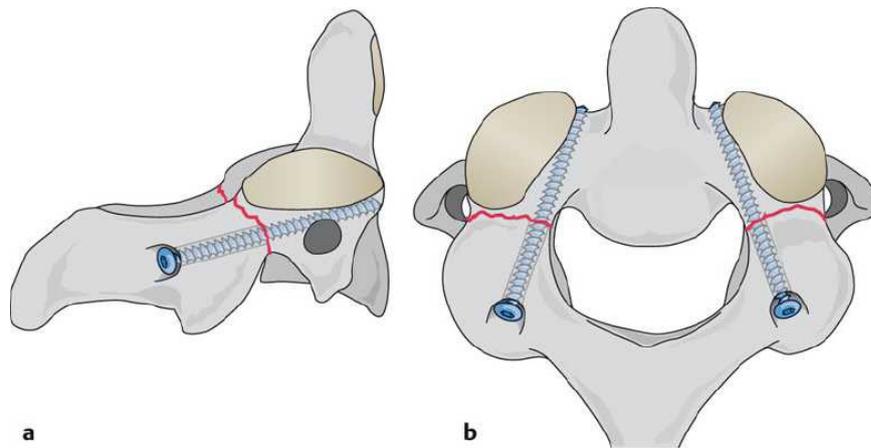


Abb. 30: Schraubenplatzierung bei HWK Bogenverschraubung [aus 119]

Indikationen für kombiniert *dorso-ventrale* Eingriffe sind:

- Translationsverletzungen mit Luxation im zervikothorakalen Übergang
- Luxationsfrakturen mit Gelenkfortsatzfrakturen
- Langstreckige Laminektomien bei HWS-Tumoren oder Metastasen
- Restinstabilität nach dorsalen oder ventralen Eingriffen
- Verspätet behandelte Fälle

Die eingebrachten *Implantate* unterscheiden sich in ihren biomechanischen Eigenschaften, Dimensionierungen und Implantationstechniken.

Verwendet werden:

- Einfache Implantate wie Schrauben oder Drähte
- Komplexe Implantate wie (winkelstabile) Platten, Hakenplatten und Längsträger [13,83]

Komplikationen

Intraoperative Komplikationen können durch technische Fehler mit Verletzung von Strukturen im Wirbelkanal, z. B. durch Schrauben, entstehen. Es können dabei Blutungen aus dem epiduralen Plexus oder der A. vertebralis resultieren. Des weiteren kann Liquor aus einer Duralücke austreten sowie der Ösophagus verletzt werden. Diese erfordern rasches und gezieltes Handeln. Während der Reposition kann Bandscheibengewebe in den Spinalkanal luxieren, deshalb ist ein intraoperativer „wake-up“-Test zu erwägen. Bei einer irreponibel verhakten

Luxation muss der Patient intraoperativ für einen dorsalen Zugang umgelagert werden.

Durch falsche biomechanische Einschätzung der Verletzung kann es zu instabilen Montagen kommen, was persistierende Instabilitäten mit Implantatbrüchen und -auslockerungen zur Folge haben kann.

Als revisionsbedürftige *peri- und postoperative Komplikationen* sind Nachblutungen, Infektionen und die Alteration des N. laryngeus recurrens und der A. carotis bekannt. Durch epidurale Hämatome oder Ödeme sind sekundäre neurologische Störungen zu erwarten.

Als *Spätkomplikationen* können Anschlußarthrosen in den benachbarten Segmenten, eine Syringomyelie durch verbleibende Knickbildungen und Einengungen, sowie radikuläre neurologische Ausfälle auftreten. Implantatlockerungen, ausbleibende knöcherne Durchbauung und Pseudarthrosen werden beschrieben. Insbesondere bei Densfrakturen Typ 2 sind Pseudarthrosen nicht selten, wobei die Zugschraubenosteosynthese die geringste Pseudarthrosenrate aufweist. Sie wird allerdings immer noch mit 17% angegeben [20]. Böhler bezeichnet die Denspseudarthrose sogar als die einzige lebensbedrohliche Pseudarthrose [24].

Für spangenförmige Verknöcherungen mit Segmentblockade außerhalb der Fusion sind zu lange Metallimplantate und eine zu großzügige Präparation des vorderen Längsbandes mit Irritation des interdiscoligamentären Raumes verantwortlich [44,55,80].

Nachbehandlung

Postoperativ wird die Halswirbelsäule in einer weichen Halskrawatte ruhiggestellt. Nach abgeschlossener Wundheilung kann mit freifunktionaler Physiotherapie aus der Halskrause heraus begonnen werden. Nach 6-8 Wochen erfolgt unter krankengymnastischer Anleitung das schrittweise Abtrainieren des Kragens unter zunehmender Belastung und Bewegung [3].

1.7 Ziel der vorliegenden Arbeit

Ziele der Behandlung von HWS-Verletzungen müssen sein, die normale Form und Stabilität der Wirbelsäule bzw. des verletzten Wirbelsäulenabschnittes wiederherzustellen, neurologische Defizite zu verhindern, für größtmögliche Schmerzfreiheit zu sorgen und eine möglichst achsengerechte Stellung ohne gleichzeitigen funktionellen Verlust zu erlangen. Jede Therapieform weist Vor- aber auch Nachteile auf. Bei der Behandlung von Wirbelsäulenverletzungen sollte immer zwischen den Vorteilen und den Risiken des jeweiligen Vorgehens abgewogen werden, um für den Patienten das Risiko zu minimieren.

Am Krankenhaus Barmherzige Brüder Regensburg, Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Sportmedizin, ein überregionales unfallchirurgisches Zentrum, wurden in der Zeit vom 01.04.1989 bis zum 31.12.1998 insgesamt 188 operative Stabilisierungen von Verletzungen der HWS bei 181 Patienten durchgeführt. Die vorliegende Studie stellt die Nachuntersuchungsergebnisse vor.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, in Bezug auf:

- die Kollektivgröße
- den Nachuntersuchungszeitraum
- die Verteilung auf Segmente
- die Verteilung des Patientenalters
- den Unfallmechanismus
- die Implantate
- Komplikationen intra- und postoperativ
- die knöchernen Durchbauung
- die postoperative Beweglichkeit
- die subjektiven Beschwerden
- die Arbeitsfähigkeit

das Patientengut auszuwerten, diese Ergebnisse mit der Literatur zu vergleichen und nicht zuletzt dadurch eine Qualitätssicherung der eigenen Arbeit zu erreichen.

2. Material und Methoden

2.1 Patienten

In der Zeit vom 1.4.1989 bis zum 31.12.1998 wurden insgesamt 181 Patienten mit traumatisch bedingten Verletzungen der Halswirbelsäule operiert, 2 davon zweimal. Es handelte sich um 124 Männer und 57 Frauen.

Insgesamt traten 196 HWS-Verletzungen auf, 188 Operationen wurden durchgeführt.

Das Alter der Patienten betrug zwischen 4 und 92 Jahre (Durchschnitt 44 J.), die Altersverteilung zeigt folgendes Diagramm:

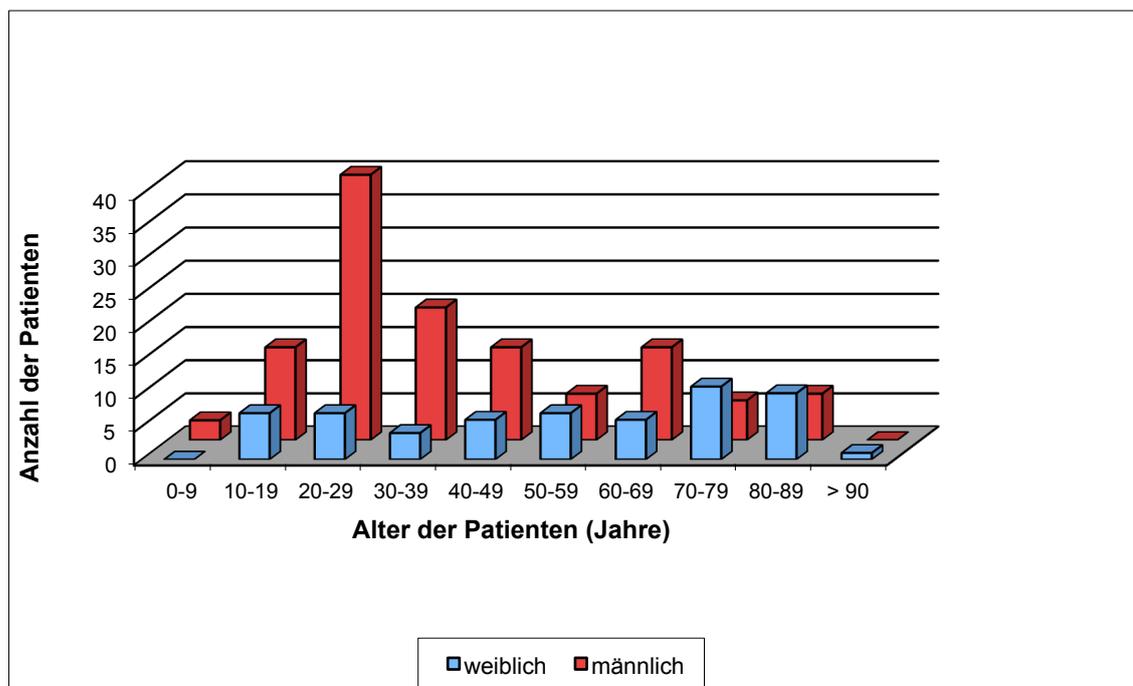


Abb. 31: Altersverteilung der Patienten (n=181)

2.2 Datenerhebung

Es erfolgte eine retrospektive Datenerhebung mit eingehender Befragung der Personen anhand eines vorher erstellten Fragebogens und eine ausführliche klinische, neurologische und radiologische Nachuntersuchung.

Die zwischen 1.4.1989 und 31.12.1998 in unserer Klinik mit einer HWS-Fraktur versorgten Patienten wurden anhand der OP-Bücher und -Berichte ermittelt, weitere Daten konnten mit Hilfe der Krankengeschichten, der Ambulanzkarteien und des Röntgenarchivs gewonnen werden.

Die Patienten wurden zu einer Nachuntersuchung eingeladen. Falls die Patienten nicht persönlich erscheinen konnten, wurden die Ergebnisse anhand des standardisierten Fragebogens telefonisch erfragt.

144 Patienten (79,6%) wurden in einem Zeitraum von durchschnittlich 35 Monaten (5 Monate bis 8 Jahre und 8 Monate) nach der Erstversorgung nachuntersucht, 11 Patienten (6,1%) konnten nicht mehr erreicht werden, und 26 Patienten (14,4%) waren bereits verstorben.

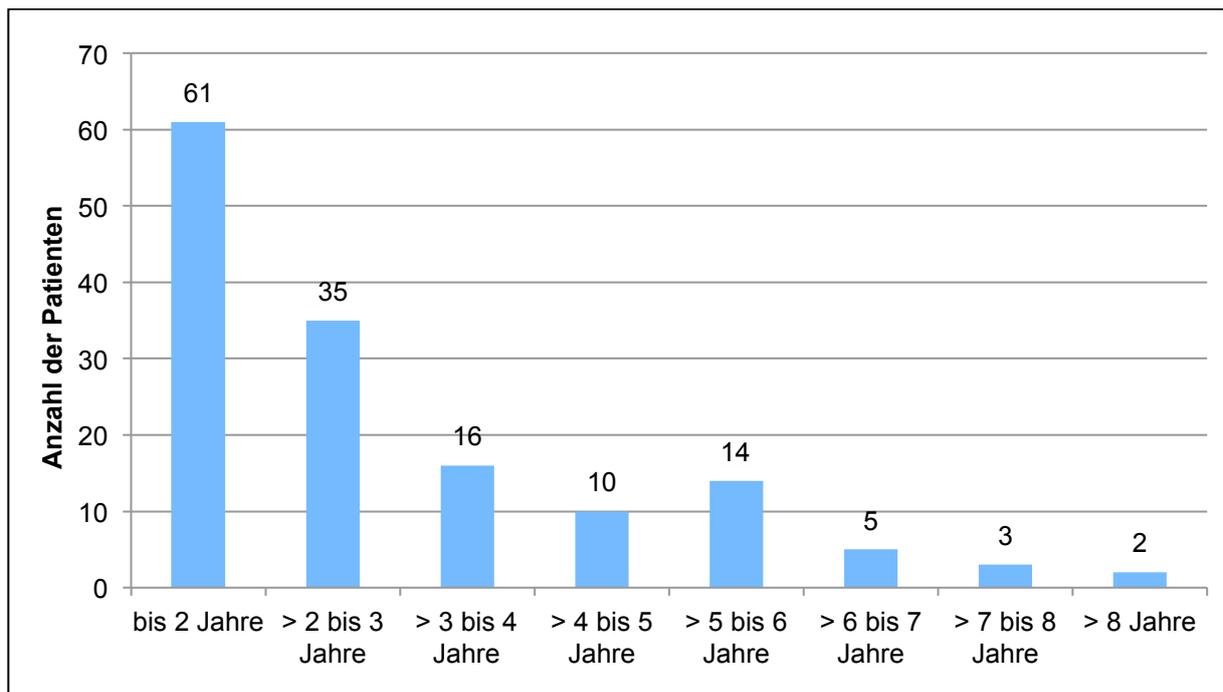


Abb. 32: Zeitlicher Abstand zwischen OP und Nachuntersuchung (n=146)

2.3 Nachuntersuchungsmethoden

Klinische Nachuntersuchung

Zunächst wurde vom Patienten, falls möglich, der genaue Unfallhergang erfragt. Anschließend wurden neben der Untersuchung der Beweglichkeit der Halswirbelsäule nach der Neutral-0-Methode auch muskuläre Verspannungen/Verhärtungen und Schmerzpunkte getastet.

Nach Inspektion und Palpation beurteilte der Untersucher auch das kosmetische Ergebnis (Muskelatrophie, Stellung der Halswirbelsäule, Narbenbildung).

Des Weiteren wurden die Patienten nach subjektiven Kriterien wie Schmerzen, Verspannungen, Beweglichkeit, Schmerzmitteleinnahme und postoperativer Zufriedenheit befragt.

Neurologische Nachuntersuchung

Die neurologische Primär- und auch die Nachuntersuchung wurde nach den ASIA-Kriterien durchgeführt [14]:

ASIA Neurological Impairment Scale [aus 38]:

A	komplett; keine sensible oder motorische Funktion in den sakralen Segmenten S4 und S5 erhalten
B	inkomplett; sensible Funktion unterhalb des neurologischen Niveaus und bis in die sakralen Segmente S4 und S5 erhalten
C	inkomplett; motorische Funktion unterhalb des neurologischen Niveaus erhalten; die Mehrzahl der Kennmuskeln unterhalb des neurologischen Niveaus haben einen Kraftgrad < 3/5
D	inkomplett; motorische Funktion unterhalb des neurologischen Niveaus erhalten; die Mehrzahl der Kennmuskeln unterhalb des neurologischen Niveaus haben einen Kraftgrad > 3/5
E	normal; sensible und motorische Funktion normal

Radiologische Nachuntersuchung

Bei der Nachuntersuchung wurden bei den Patienten konventionelle Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule in 2 Ebenen, sowie Funktionsaufnahmen in maximaler Reklination und Inklinaton durchgeführt. Hierbei wurde einerseits die knöcherne Durchbauung und Lage der Osteosynthesen oder Spondylodesen, andererseits die Restbeweglichkeit der Halswirbelsäule beurteilt.

Ein einheitlicher Nachuntersuchungsscore ist nicht verwendet worden.

3. Ergebnisse

Da es sich bei der oberen und unteren Halswirbelsäule um zwei biomechanisch und auch anatomisch völlig verschiedene Abschnitte handelt, die auch unterschiedlich operativ versorgt werden müssen, wurden die Nachuntersuchungsergebnisse in obere und untere Halswirbelsäule unterteilt.

3.1 Obere HWS

Fragebogenauswertung

Es wurden bei 65 Patienten 68 Operationen an der oberen HWS durchgeführt, 3 Patienten wurden kombiniert einzeitig von ventral und dorsal stabilisiert. Eine Patientin wurde zweizeitig dorsoventral versorgt, bei einem Patienten wurde nach notfallmäßiger Densbasisverschraubung sekundär die Verplattung einer Atlasbogenfraktur nach CT-Diagnostik durchgeführt.

3 Patienten verstarben unfallbedingt, 8 Patienten unfallunabhängig.

2 Verletzungen blieben unbekannt.

Alters - und Geschlechtsverteilung

Das Durchschnittsalter der verunfallten Patienten mit Verletzungen an der oberen HWS betrug zu diesem Zeitpunkt 52 Jahre, sie waren zwischen 4 und 92 Jahre alt.

Bei den insgesamt 37 (56,9%) *männlichen* Patienten war der Häufigkeitsgipfel in der Gruppe der 20- und 29-Jährigen mit 13 Verletzten angesiedelt.

Die Inzidenz der Verletzungen der oberen Halswirbelsäule bei den 28 (43,1%) *weiblichen* Patienten steigt mit fortgeschrittenem Lebensalter. Das Maximum liegt hier in der Altersgruppe zwischen 70 und 89 Jahren mit 14 Verletzten.

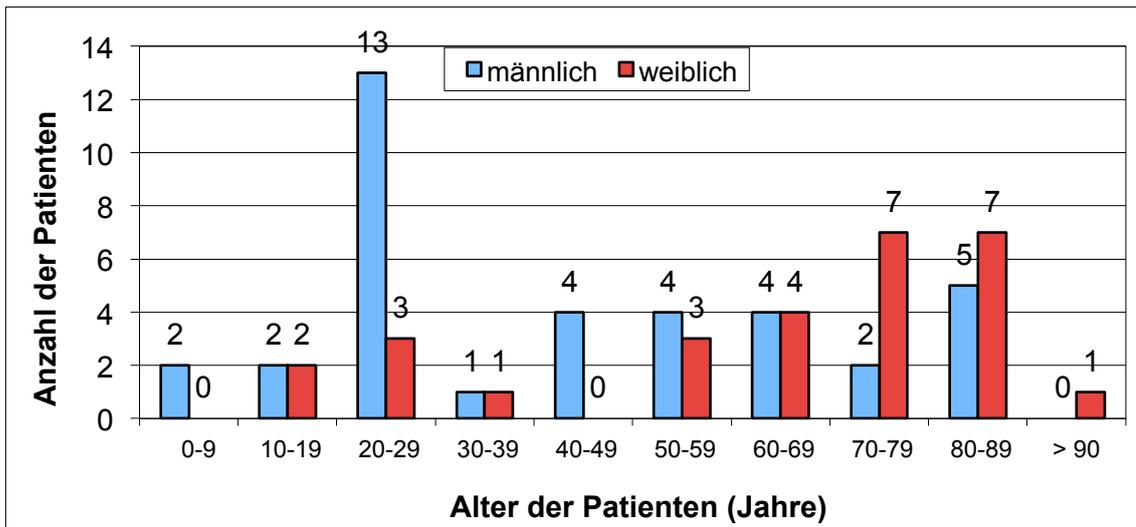


Abb. 33: Alters – und Geschlechtsverteilung der Patienten (n=65)

Häufigkeit der Frakturarten und -lokalisierung

Die Lokalisation und Typisierung der HWS-Verletzungen wurde anhand der Unfallröntgen- bzw. CT- Bilder vorgenommen.

Insgesamt wurden 74 Verletzungen der oberen HWS bei 68 Patienten festgestellt, 3 davon waren als Begleitverletzungen von Frakturen der unteren HWS aufgefallen. Von diesen 68 Patienten mussten 65 einer operativen Stabilisierung unterzogen werden, 4 davon kombiniert dorsoventral.

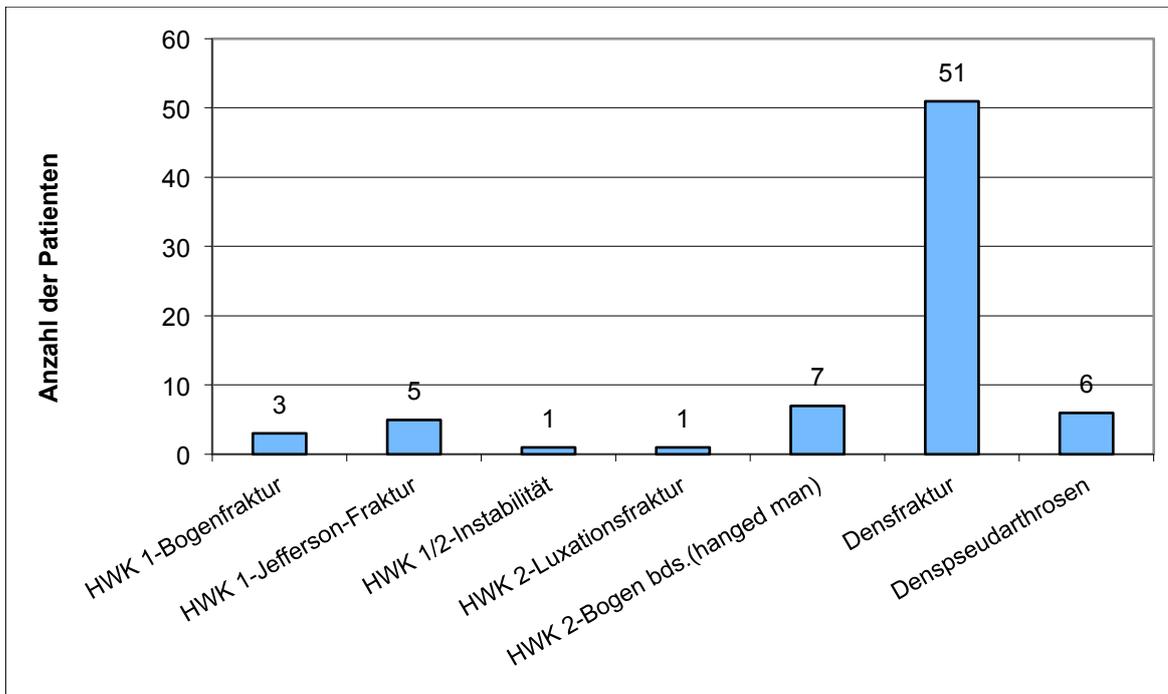


Abb. 34: Verletzungsarten (n=74)

Unfallursachen

Häufigste Unfallursache waren Verkehrsunfälle in 38 Fällen (57,6%), gefolgt von einfachen Stürzen (< 2m Höhe), v.a. bei älteren Patienten.

Zu beachten ist hier, dass 1 Patient jeweils zweimal stürzte und bei bereits verschraubter Densfraktur und Pseudarthrose eine Reosteosynthese durchgeführt werden musste.

Die genaue Häufigkeitsverteilung zeigt folgende Abbildung:

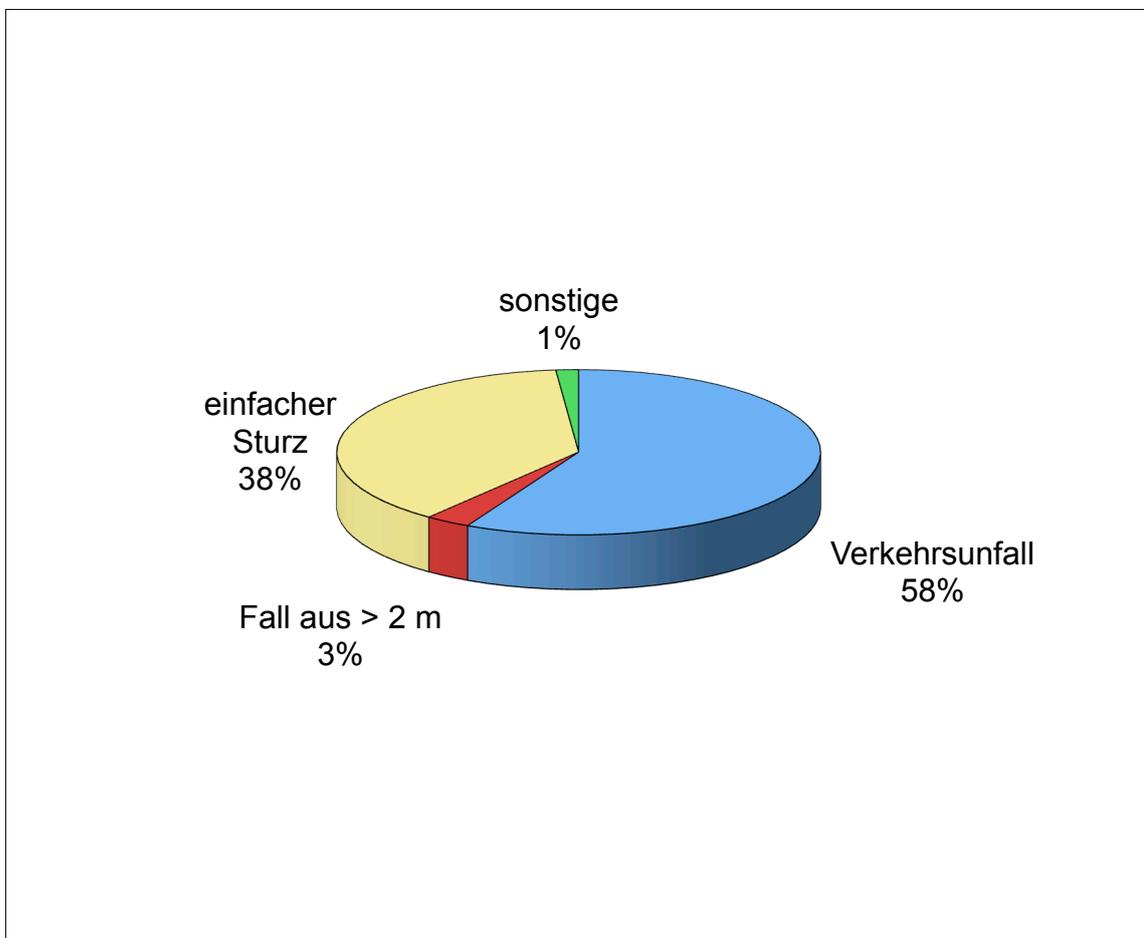


Abb. 35: Unfallursachen (n=66)

Zusatz- und lokale Begleitverletzungen

In 25 Fällen trat eine isolierte Verletzung der oberen Halswirbelsäule auf, bei den restlichen Patienten traten zum Teil erhebliche Begleitverletzungen, v.a. nach Verkehrsunfällen, auf.

8 Patienten (12%) erlitten ein Polytrauma Grad II und III nach *Schweiberer* und *Sauer*.

keine Verletzungen	25	38,5%
Schädelfraktur	7	10,8%
SHT	14	21,5%
Thorax Organe	11	16,9%
davon Pneumothorax	2	3,1%
Hämatothorax	1	1,5%
Thorax knöchern	10	15,4%
obere Extremität	15	23,1%
Abdomen	1	1,5%
BWS / LWS	6	9,2%
Becken	4	6,2%
untere Extremität	6	9,2%
Polytraumen	8	12,3%

Tabelle 1: Begleitverletzungen (Mehrfachnennungen möglich)

Als lokale Begleitverletzungen traten je 2 Deckplatteneinbrüche, Querfortsatz- und Bogen-/Bogenwurzelfrakturen auf. Weiterhin sahen wir jeweils 1 Gelenkfortsatz- und 1 Wirbelkörperlängsfraktur anderer Wirbel der unteren HWS.

Deckplatteneinbruch	2	3,1%
Querfortsatzfrakturen	2	3,1%
Bogen-/Bogenwurzelfrakturen	2	3,1%
Gelenkfortsatzfraktur	1	1,5%
Wk-Längsfraktur untere HWS	1	1,5%

Tabelle 2: Lokale Begleitverletzungen

Operationsindikationen

Es wurden 68 operative Stabilisierungen durchgeführt.

54-mal wurde aufgrund primärer Instabilität bzw. Fehlstellung stabilisiert, 1 Patient hatte dabei eine primäre Tetraparese ASIA A.

In 8 Fällen musste die Operationsindikation bei chronischer Instabilität bzw. Pseudarthrosen gestellt werden.

8 Patienten wurden im Rahmen der Polytraumaversorgung operativ behandelt, 4 Patienten davon hatten bei instabilen Halswirbelsäulenverhältnissen keine neurologischen Ausfallserscheinungen, 3-mal wurde eine komplette Querschnittläsion ASIA A diagnostiziert, bei einem Patienten konnte präoperativ keine neurologische Klassifizierung durchgeführt werden (dieser Patient verstarb postoperativ an den Unfallfolgen).

1 Patient wurde zunächst bei Densfraktur und Tetraparese notfallmäßig von ventral verschraubt, nach sekundärer CT-Diagnostik erfolgte am Folgetag die transorale Plattenosteosynthese der Atlasbogenfraktur.

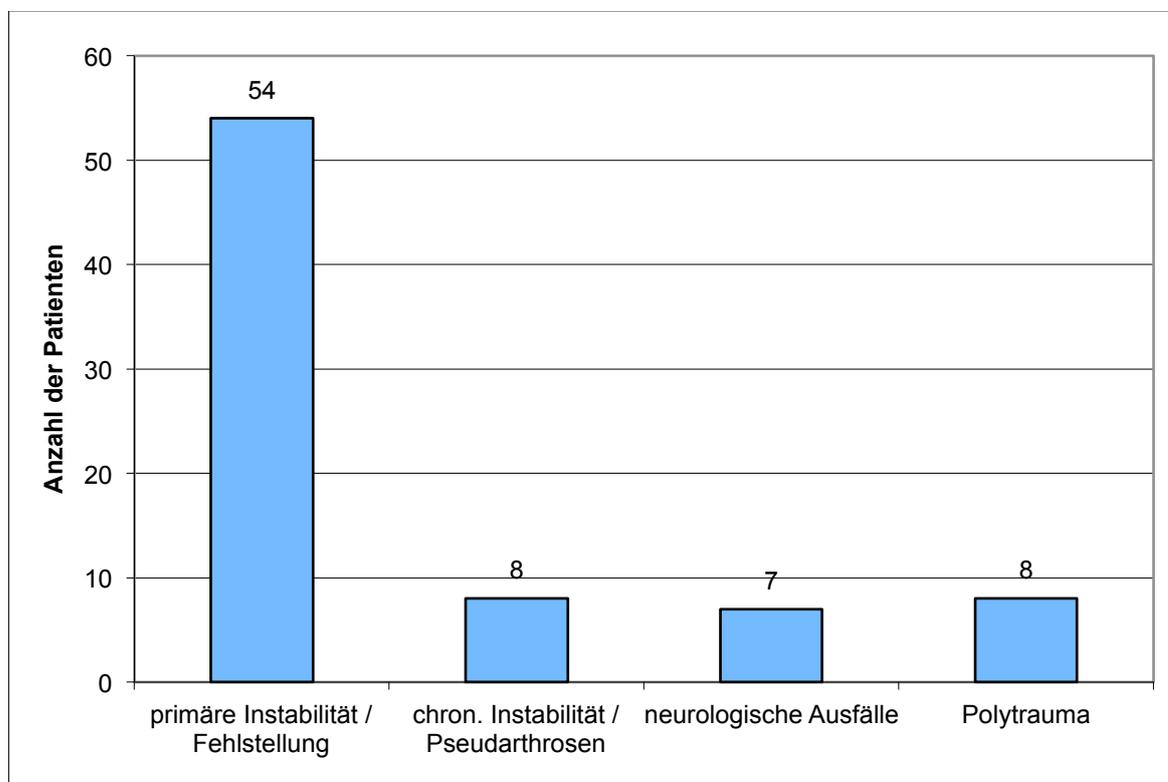


Abb. 36: Operationsindikationen bei 68 Ops (Mehrfachnennungen mögl.)

Operationszeitpunkt

Der Zeitraum zwischen Unfall und operativer Versorgung betrug im Mittel 136 Tage (0 Tage bis 18 Jahre). Die meisten Patienten (14) wurden am 1. Tag nach dem Unfall operiert. Ein Patient zog sich im Alter von 4 Jahren bei einem Verkehrsunfall eine Densfraktur zu, kam 18 Jahre später mit anhaltenden Beschwerden und wurde von dorsal in der Technik nach Gallie und Magerl fusioniert.

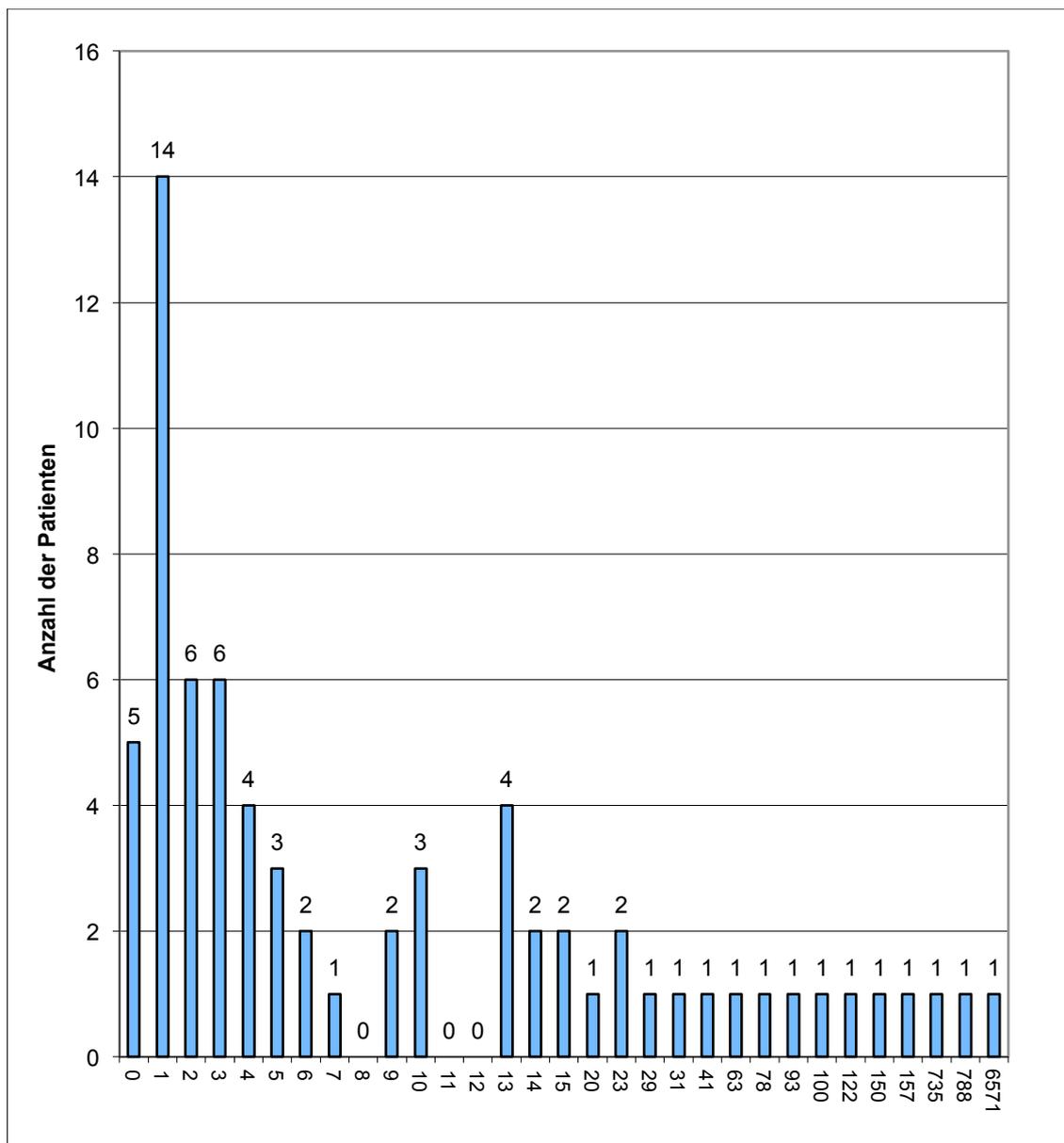


Abb. 37: Tage zwischen Unfallereignis und OP

Eingriffsart

Insgesamt wurden bei 65 Patienten 68 Operationen durchgeführt.

55 Eingriffe wurden nur von *ventral* durchgeführt: 3 davon am Atlas, 52 am Axis.

Isoliert *dorsale* Operationen erfolgten 10-mal: 5 bei Denspseudarthrose, 2 bei Densfrakturen, 2 bei hanged man Frakturen, 1 bei hinterer Atlasbogenfraktur.

Dorsoventral einzeitig musste 3 mal stabilisiert werden: 1 Denspseudarthrose mit Instabilität HWK 1-2 wurde durch Verschraubung und zusätzliche Fusion nach Gallie versorgt, 1 Densfraktur und hanged man-Fraktur an einer Patientin wurde ventral am Dens und dorsal an beiden Bögen HWK 2 verschraubt, bei einer HWK 2-Luxationsfraktur wurde von ventral die Corpusfraktur und von dorsal der linke Bogen (n. Judet) und das rechte Gelenk (n. Magerl) verschraubt.

Dorsoventral zweizeitig musste eine primär von ventral verschraubte Densfraktur bei ausgeprägter bleibender Instabilität HWK 1-2 zusätzlich 14 Tage später von dorsal nach Gallie fusioniert werden.

1 Patient wurde zunächst bei Densfraktur und Tetraparese notfallmäßig von ventral verschraubt, nach sekundärer CT-Diagnostik erfolgte am Folgetag die transorale Plattenosteosynthese der Atlasbogenfraktur.

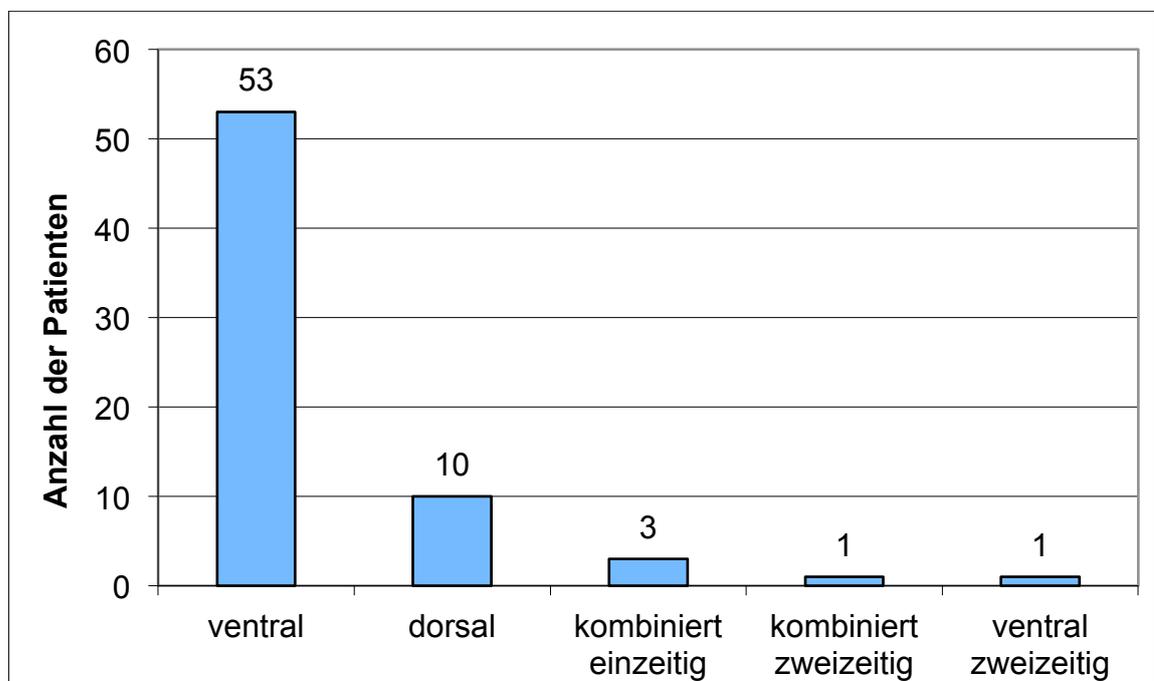


Abb. 38: Primäreingriffe bei 68 Operationen

Implantate und Spongiosa

Insgesamt wurden bei 68 Operationen 78 Implantate eingebracht.

Von *ventral* wurden 50 *Spongiosaschrauben* (nicht kanüliert) bei Densfrakturen eingebracht, 9-mal musste bei basisnaher Fraktur eine zusätzliche *Antigleitplatte* angebracht werden. Bei einer Patientin mit Densfraktur Typ Anderson III und Luxation HWK 2 erfolgte die Anbringung der Antigleitplatte gleichzeitig als Spondylodese HWK 2-3. 4-mal wurde eine hanged man-Fraktur durch Spondylodese HWK 2-3 mit *Platte* stabilisiert, 1-mal erfolgte die Versorgung einer vorderen Atlasbogenfraktur mit *transoraler Plattenosteosynthese*.

Von *dorsal* wurden folgende Implantate eingebracht:

Bei einer Patientin wurde die hintere Atlasbogenfraktur und Fraktur der Massa lateralis links mit *Miniplattenosteosynthese* des Atlasbogens und *Magerl-Verschraubung* HWK 1-2 links versorgt. Bei 2 Patienten wurde bei hanged man-Frakturen die Axisbögen bds. nach *Judet* verschraubt, bei einem Patienten mit der gleichen Verletzung eine *Magerl-Verschraubung* der Gelenke HWK 2-3 durchgeführt. Die Technik der Fusionierung von HWK 1-2 nach *Magerl* und *Gallie* wurde bei 3 Patienten mit Denspseudarthrosen und bei 1 Patient mit Densbasistrümmerfraktur angewendet. Die dorsale Versteifung nach *Gallie* ohne zusätzliche *Magerl-Verschraubung* erfolgte jeweils einmal bei Denspseudarthrose 6 Monate nach ventraler Verschraubung, einmal nach verbliebener Instabilität HWK 1-2 nach ventraler Densverschraubung, einer Densfraktur bei ausgeprägter Osteoporose und einer Denspseudarthrose, wo aufgrund der Weichteilsituation eine Verschraubung nicht möglich war.

Die genaue Anzahl der verwendeten Implantate und die Knochentransplantationen zeigt folgende Tabelle:

Implantat dorsal	Implantat ventral	Knochentransplantation	Entnahmestelle
Cerclage: 9	Spongiosaschrauben: 50	autogene Spongiosa: 2	hinterer Beckenkamm: 7
Spongiosaschrauben: 4	Platte: 14	autogener CS-Span: 11	vorderer Beckenkamm: 6
Drittelrohrplatte: 1	keines: 10	keine: 55	keine: 55
keines: 54			

Tab. 3: verwendete Implantate und Knochentransplantation obere HWS

Arbeitsfähigkeit postoperativ

Von den 65 erfassten Patienten waren 21 wieder im alten Beruf, 1 unterzog sich einer Umschulung, 1 Patient war arbeitslos, 5 arbeitsunfähig und 26 berentet.

Eine prozentuale Auflistung zeigt folgendes Diagramm:

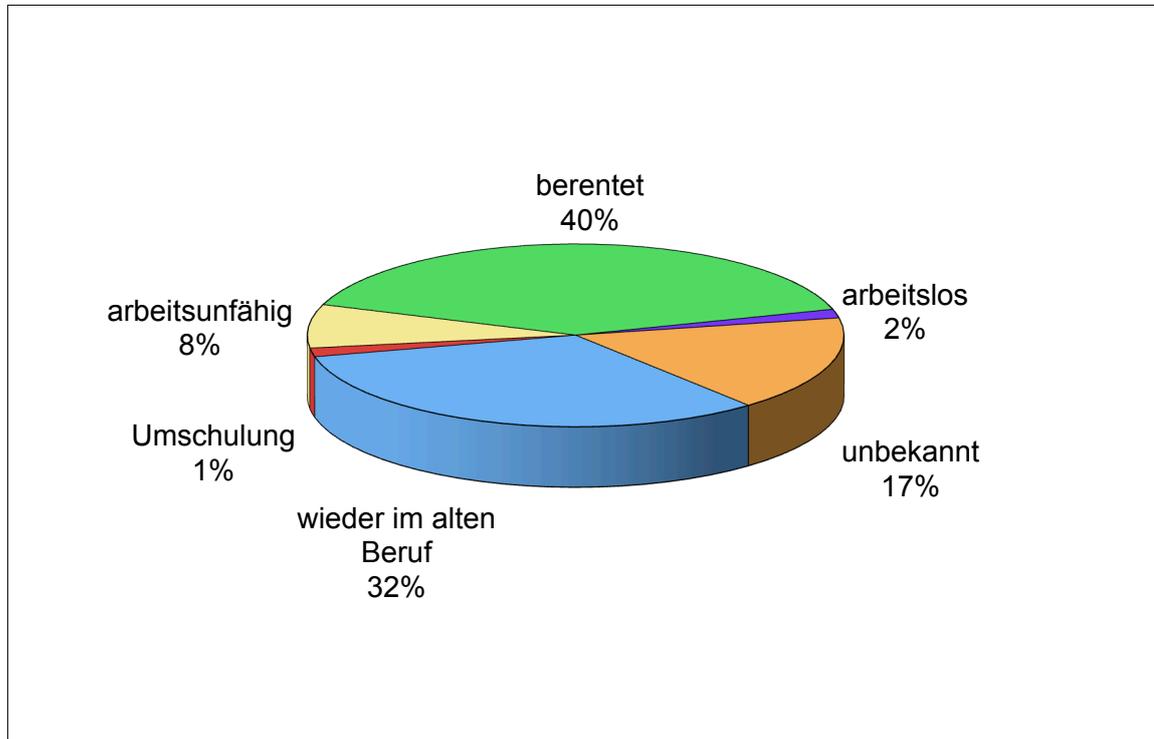


Abb. 39: postoperative Arbeitsfähigkeit (n=65)

Patientenzufriedenheit postoperativ

53 Patienten konnten nach ihrer Zufriedenheit mit der Operation befragt werden.

Das Ergebnis zeigt folgende Abbildung:

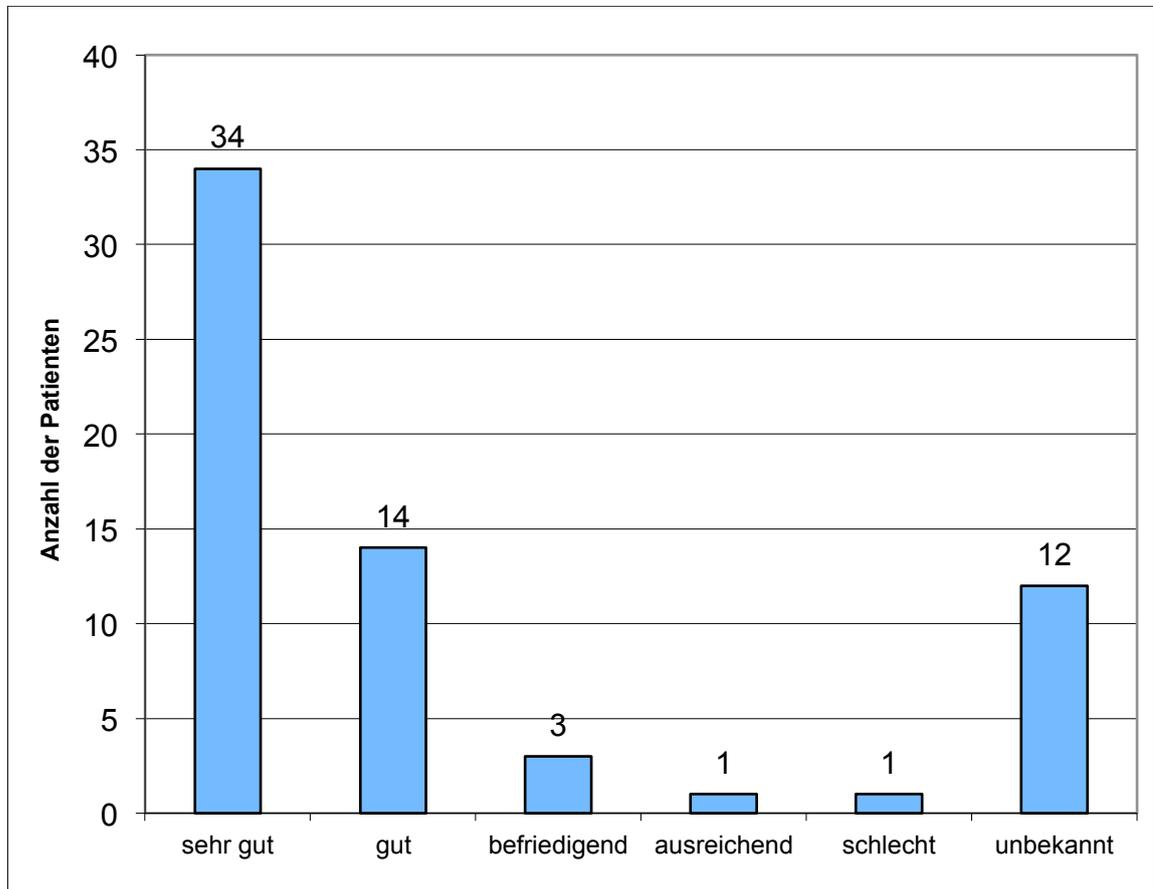


Abb. 40: Patientenzufriedenheit mit der Operation (n=65)

Klinische Nachuntersuchung

Funktionelle Ergebnisse

Postoperativ kam es zu Bewegungseinschränkungen der oberen HWS bei der Inklination von 10° bis 45°, der Reklination von 10° bis 70°, der Rotation re / li von 20° bis 80° und Seitneigung re / li zwischen 10° und 55°.

Dabei treten die stärksten Einschränkungen der *Inklination* nach der Fusion HWK 1-2, der *Reklination*, der *Rotation* und der *Seitneigung* jeweils nach Densverschraubung auf.

Inkl.	Rekl.	Rot re.	Rot li.	Seit re.	Seit li.
Min.: 10°	Min.: 10°	Min.: 20°	Min.: 20°	Min.: 10°	Min.: 10°
Max.: 45°	Max.: 70°	Max.: 80°	Max.: 80°	Max.: 55°	Max.: 55°

Tab. 4: Bewegungsausmaß postoperativ

Neurologische Ergebnisse

Bei den 68 Patienten mit Verletzungen der oberen HWS trat bei 4 Patienten präoperativ eine komplette Querschnittssymptomatik ASIA A auf, 3 davon waren polytraumatisiert. Postoperativ kam es in 2 Fällen zu einer deutlichen Verbesserung (ASIA D), in einem Fall blieb die Querschnittssymptomatik ASIA A bestehen, ein Patient mit hoher Querschnittssymptomatik bei Densfraktur verstarb am 4. postoperativen Tag.

Bei einem Patienten ohne neurologische Ausfallerscheinungen präoperativ wurde postoperativ eine Läsion nach ASIA A festgestellt. Der Grund war eine Schraubenfehlage nach Densverschraubung.

Radiologische Ergebnisse

In den Röntgenaufnahmen zur Nachuntersuchung zeigte sich 54-mal eine *knöcherne Durchbauung* und 4 Pseudarthrosen, 11 Patienten konnten nicht mehr geröntgt werden.

48-mal waren die eingebrachten *Implantate* unverändert, in 9 Fällen waren sie bereits entfernt, bei einem Patienten war eine Schraube nach Densverschraubung gebrochen, die Fraktur allerdings knöchern konsolidiert.

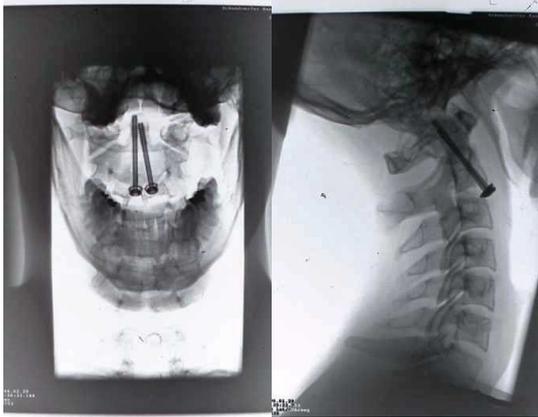


Abb. 41: ventrale Verschraubung einer Densfraktur Typ II mit 2 Kompressions-schrauben

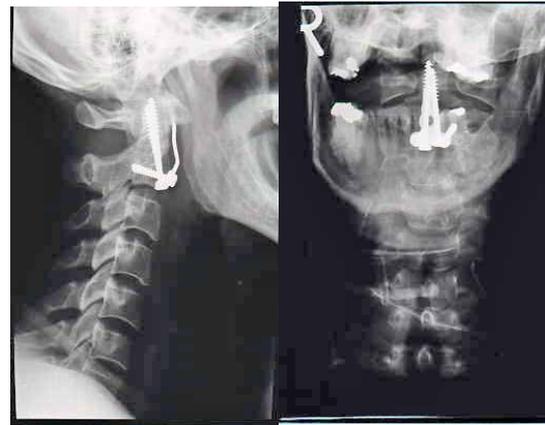


Abb. 42: ventrale Verschraubung einer Densfraktur und zusätzliche Antigleit-platte

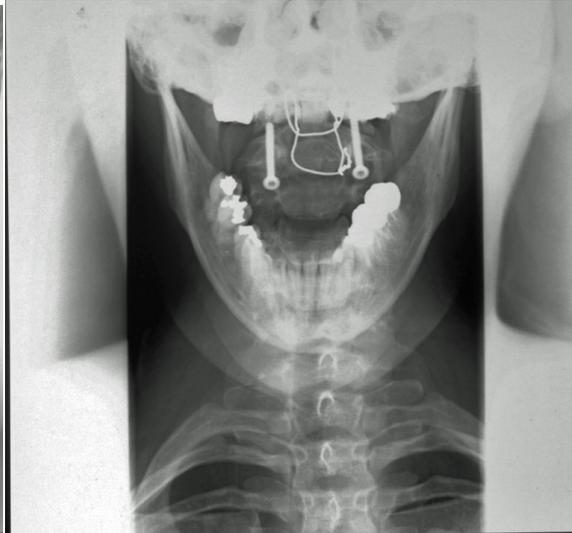


Abb. 43: dorsale Fusion HWK 1 und 2 mit kortikospongiösem Span nach Gallie und transartikulärer Verschraubung nach Magerl bei Denspseudarthrose

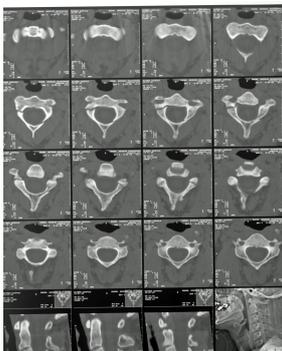


Abb. 44: temporäre Spondylodese einer HWK 2-Bogenfraktur (hanged man) mit ventraler Platte

Abb. 45: Verschraubung HWK-2-Bogenwurzel nach Judet

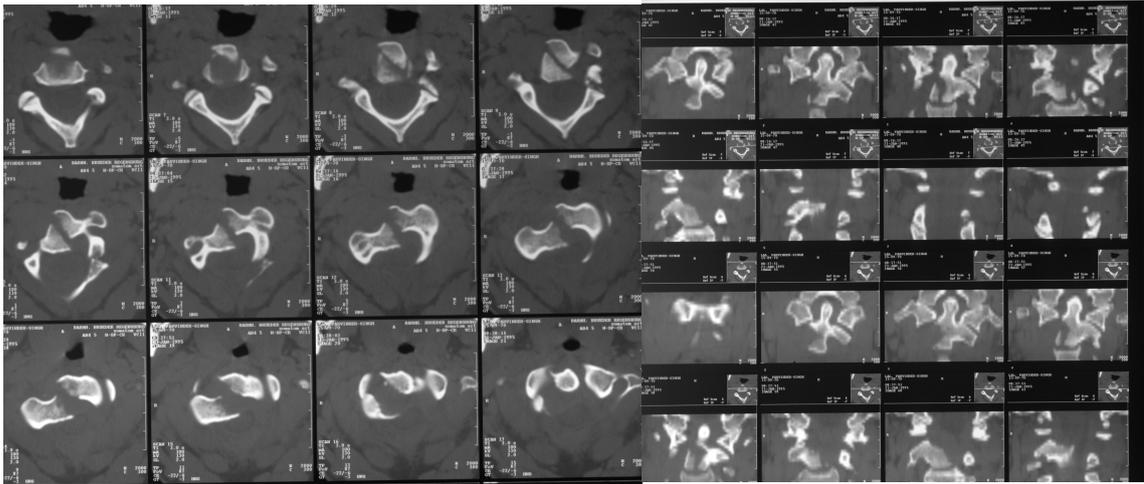


Abb. 46: HWK-2-Luxationsfraktur mit Rotationsfehlstellung

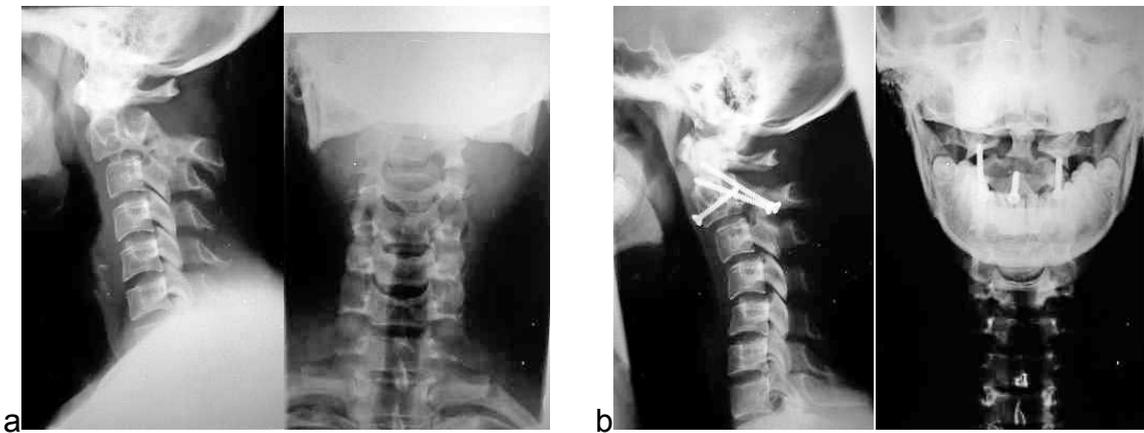


Abb. 47: a präoperative Röntgenbilder b operative Versorgung mit dorsaler offener Reposition, Bogenverschraubung linksseitig nach Judet, Fusion HWK1 und 2 rechts mit Schraubenosteosynthese nach Magerl, ventrale interfragmentäre Verschraubung der Corpusfraktur HWK 2

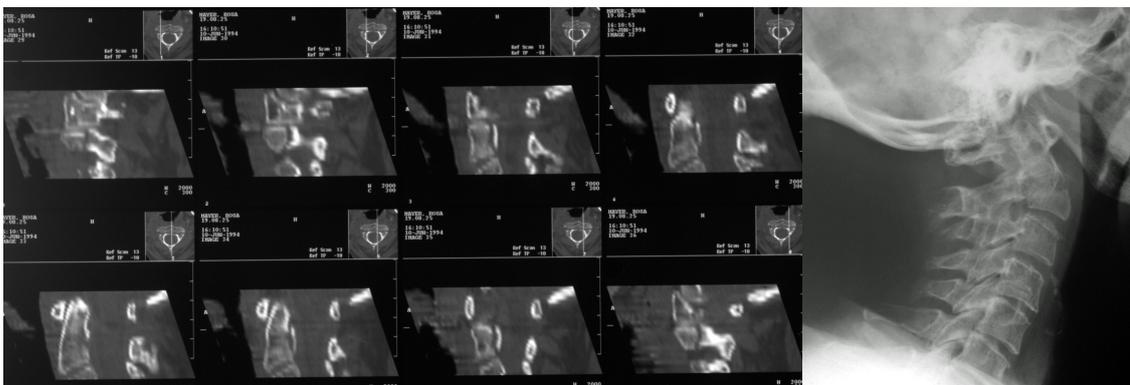


Abb. 48: Densbasisfraktur (Typ Anderson III) mit traumatischer beidseitiger Bogenfraktur HWK 2 (hanged man-fracture)

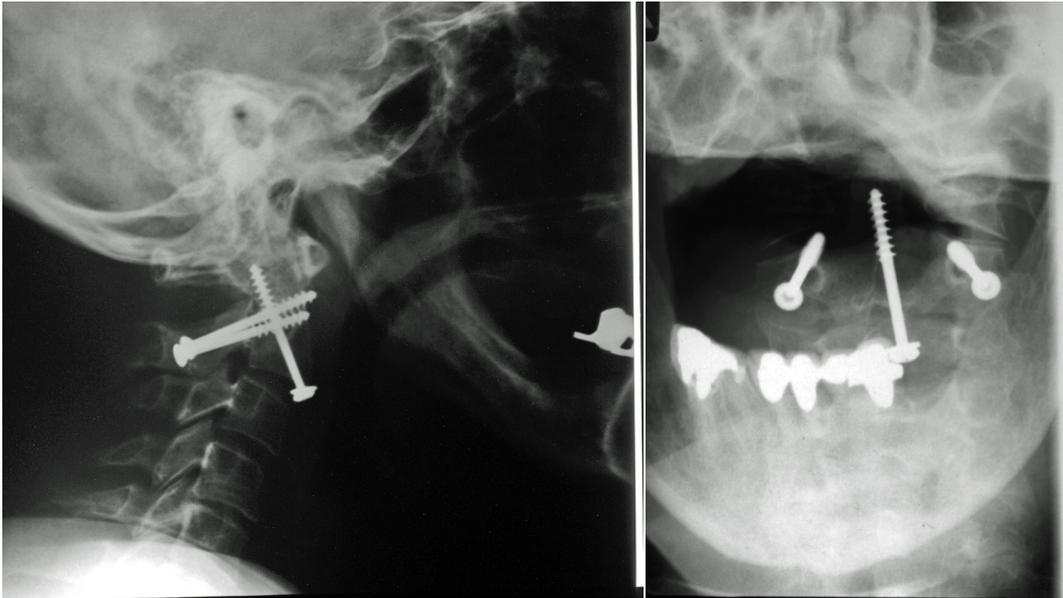


Abb. 49: Fraktur aus Abb.48, versorgt durch ventrale Densverschraubung und dorsale Bogenverschraubung HWK 2

Komplikationen

Insgesamt traten 10 eingriffsspezifische Komplikationen auf.

Von 48 Densverschraubungen kam es in 4 Fällen zur Pseudarthrose, wovon zweimal eine dorsale Fusion HWK 1-2 nach Gallie durchgeführt werden musste, 2 Patienten ließen sich aufgrund mangelnder Beschwerden nicht mehr operieren.



Abb. 50: Denspseudarthrose nach ventraler Verschraubung. Es erfolgte die Schraubenentfernung und die dorsale Fusion HWK 1 und 2 nach Gallie

Bei einem Patienten erfolgte eine ventrale Reosteosynthese einer Densverschraubung aufgrund des Verdachts auf ein Os odontoideum.

Ein postoperativer Schraubenbruch bedurfte keiner weiteren Intervention, da die Densfraktur knöchern durchbaut war.



Abb. 51: Schraubenbruch nach Densverschraubung bei knöcherner Durchbauung

Bei einem Patienten ohne neurologische Ausfallserscheinungen präoperativ wurde postoperativ eine Läsion nach ASIA A festgestellt. Es handelte sich hierbei um eine Schraubenfehlage nach Densverschraubung.

Bei einem Patienten wurde eine Bogenfraktur HWK 6 sekundär diagnostiziert, eine zweite Operation wurde erforderlich.

Bei einer Patientin stellte sich nach Densverschraubung eine Instabilität im Segment HWK 1-2 heraus, es erfolgte die zusätzliche dorsale Fusion nach Gallie.

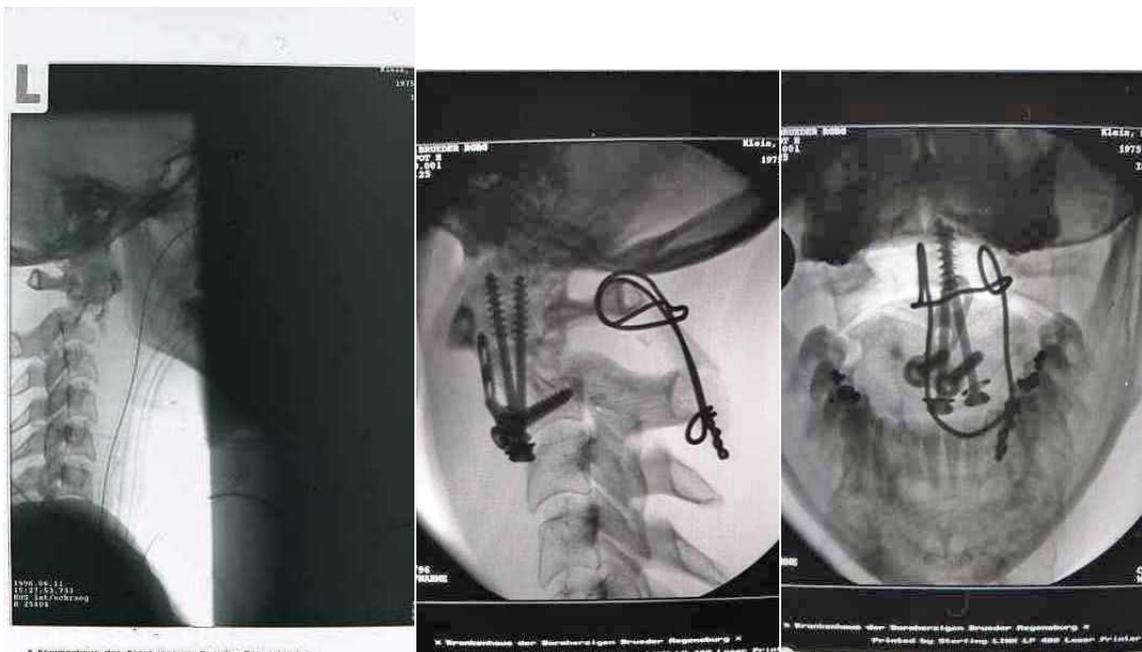


Abb. 52: Denstrümmerfraktur Typ III mit Tetraparese. Nach ventraler Versorgung ausgeprägte Instabilität, sodass nach 14 Tagen die dorsale Fusion durchgeführt wurde.

Eine Zusammenfassung der Komplikationen und ihrer Konsequenzen zeigt nachfolgende Tabelle:

eingriffsbezogene Komplikationen		
4 Dens-Pseudarthrosen	->	2 x dorsale Fusion C1/2 n. Gallie, 2 x beschwerdefrei
1 Os odontoideum nach Densverschraubung	->	erneute Verschraubung
1 Instabilität C 1/2 nach Densverschraubung	->	dorsale Fusion C1/2 n. Gallie
2 Schraubenfehlagen n. Densverschraubung	->	1 x ME, 1 x Schraubenkorrektur
Fraktur andere HWS - Höhe	->	2. OP erforderlich
Schraubenbruch nach Densverschraubung	->	keine OP, da Fraktur fest
allgemeine Komplikationen		
2 Pneumonien		
1 Bradykardie -> Exitus letalis		

Tab. 5: postoperative Komplikationen obere HWS

3.2 Untere HWS

Fragebogenauswertung

Es wurden bei 118 Patienten 119 Operationen an der unteren HWS durchgeführt. Bei 100 Patienten erfolgte eine *ventrale*, bei 7 eine rein *dorsale* Spondylodese. 10 Patienten wurden *kombiniert einzeitig*, 2 *zweizeitig dorsoventral* stabilisiert.

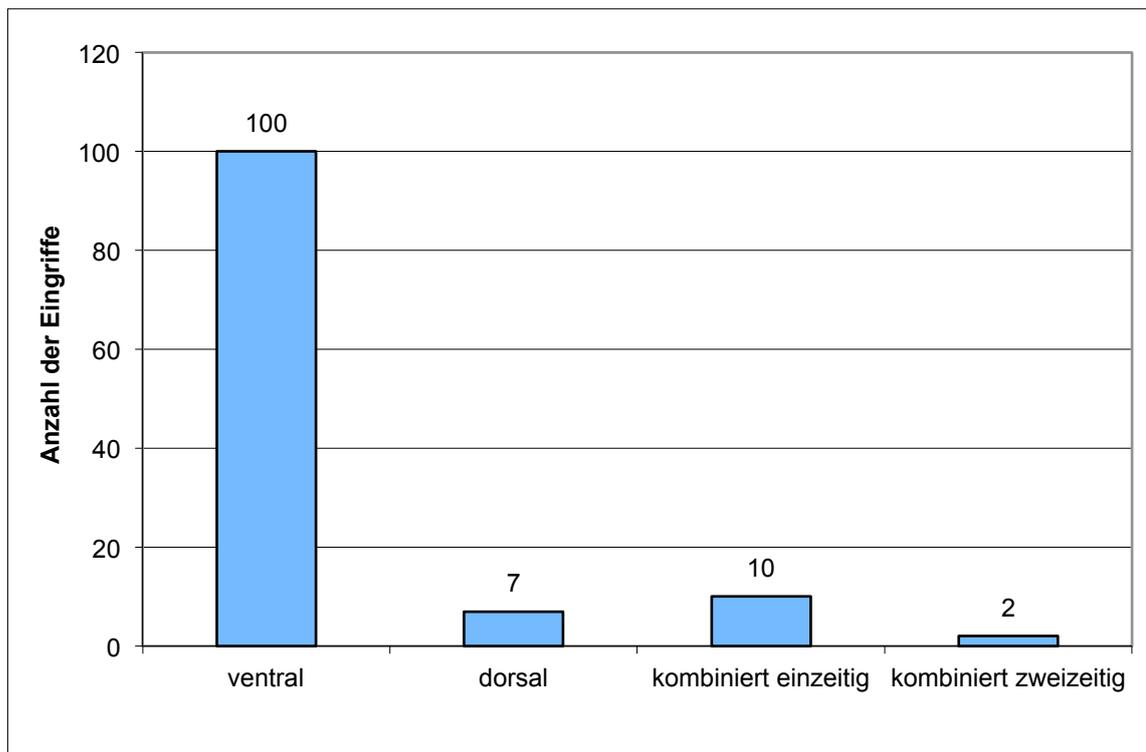


Abb. 53: Art und Anzahl der Eingriffe an der unteren HWS (n=119)

Alters - und Geschlechtsverteilung

Das Durchschnittsalter der verunfallten Patienten mit Verletzungen an der unteren HWS betrug zu diesem Zeitpunkt 39,8 Jahre, sie waren zwischen 7 und 89 Jahre alt.

Bei den insgesamt 88 (74,6%) *männlichen* Patienten war der Häufigkeitsgipfel in der Gruppe der 20 und 29 Jährigen mit 28 Verletzten angesiedelt.

Die Inzidenz der Verletzungen der unteren Halswirbelsäule bei den 30 (25,4%) weiblichen Patienten ist nahezu über alle Altersklassen gleich verteilt mit einem geringen Maximum zwischen 40 und 59 Jahren (insgesamt 11 Patientinnen).

Eine genaue Darstellung der Altersverteilung zeigt die folgende Abbildung.

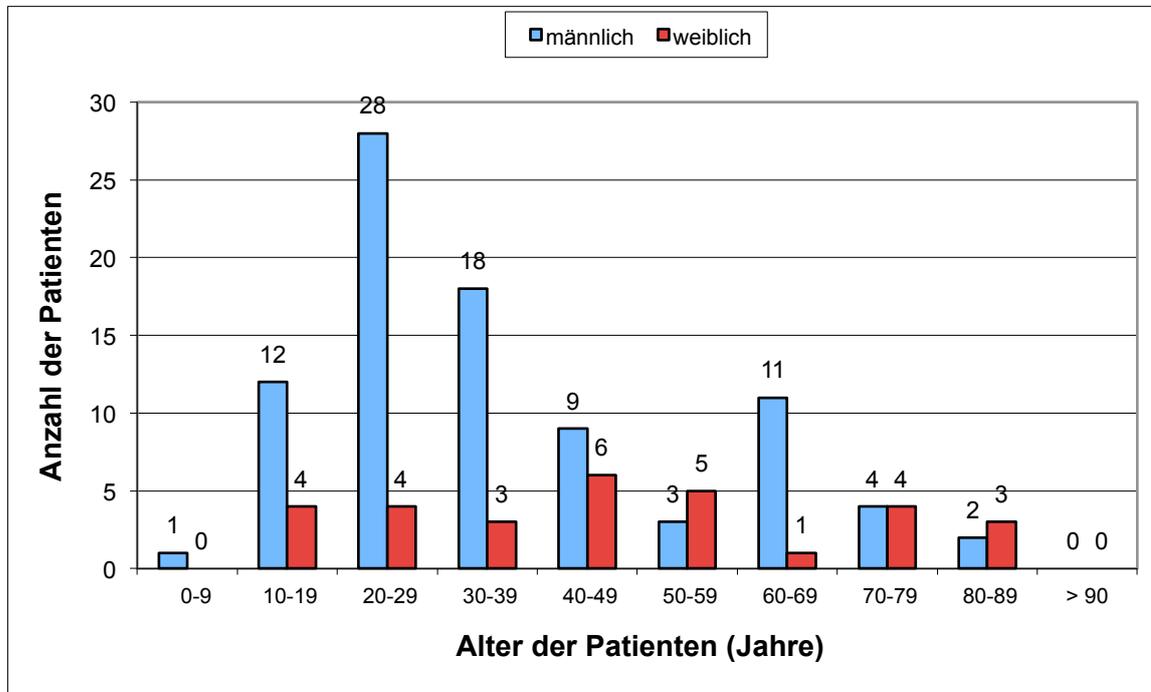


Abb. 54: Altersverteilung untere HWS (n=118)

Häufigkeit der Frakturarten und -lokalisierung

Die Lokalisation und Typisierung der HWS-Verletzungen wurde anhand der Unfallröntgen- bzw. CT- Bilder vorgenommen.

Häufigste Frakturart von 118 Verletzungen der unteren HWS war die *Luxationsfraktur*, die 61-mal behandelt wurde, vor 25 *Kompressionsfrakturen*, 18 *Luxationen/Subluxationen* und 14 *chronischen Instabilitäten*.

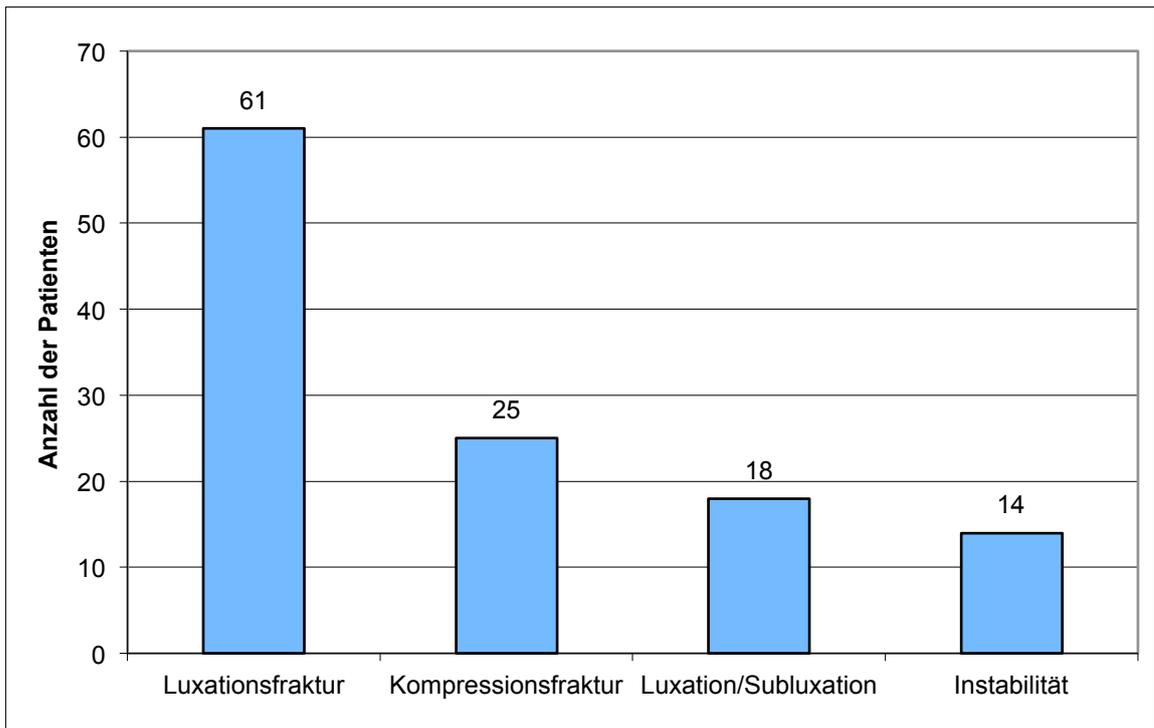


Abb. 55: Verteilung der Frakturarten untere HWS (n=118)

Am häufigsten traten die Verletzungen in Höhe HWK 5-6 und HWK 6-7 auf. Eine genaue Auflistung zeigt folgende Abbildung.

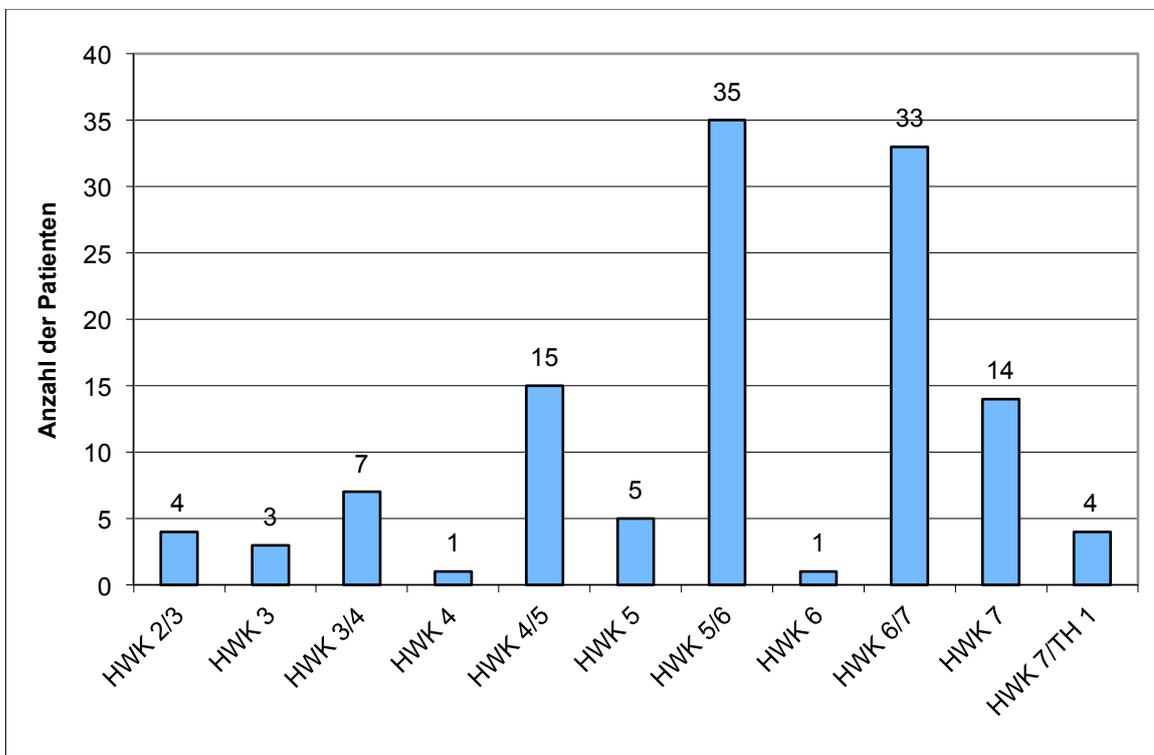


Abb. 56: Frakturverteilung untere HWS (n=122)

Unfallursachen

Häufigste Unfallursache waren Verkehrsunfälle in 68 Fällen, gefolgt von einfachen Stürzen < 2m Höhe (24), Stürzen aus größerer Höhe (15) und Sprüngen in flaches Wasser (10).

Die genaue Häufigkeitsverteilung in Prozent zeigt folgende Abbildung:

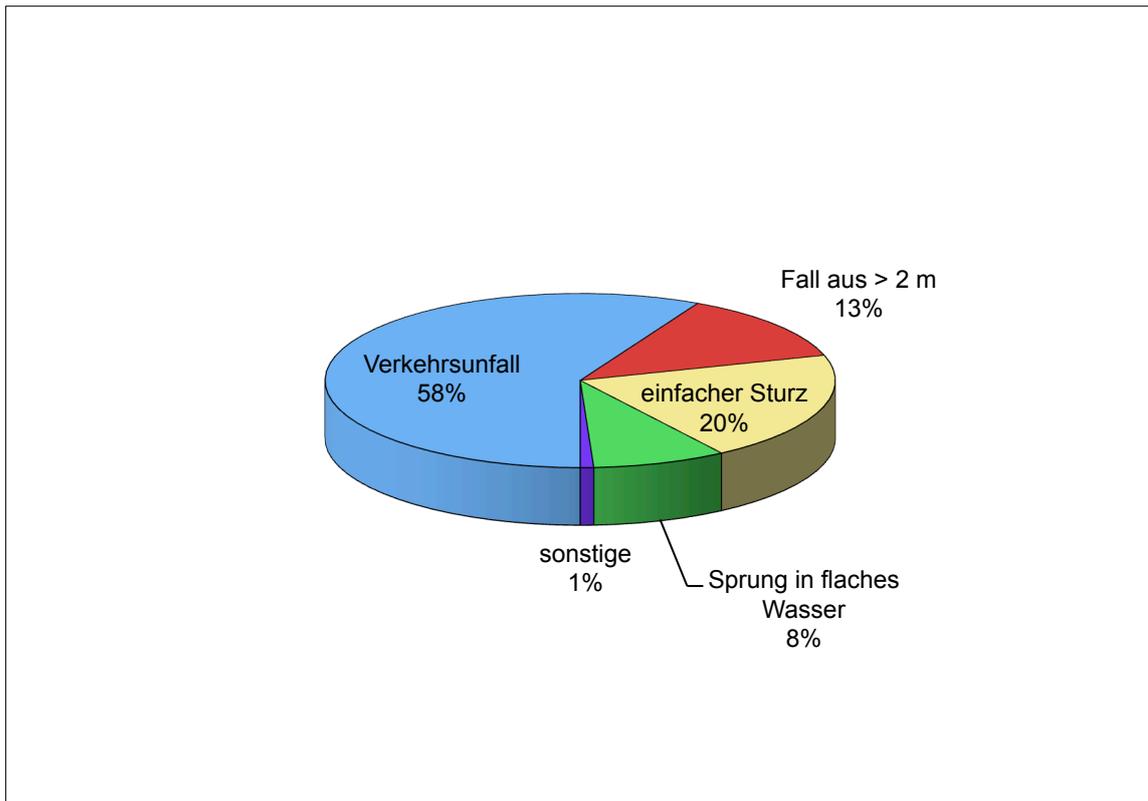


Abb. 57: Unfallursachen untere HWS

Zusatz- und lokale Begleitverletzungen

In 64 Fällen (54,2%) trat eine isolierte Verletzung der unteren Halswirbelsäule auf, bei den restlichen Patienten traten zum Teil erhebliche Begleitverletzungen, v.a. nach Verkehrsunfällen, auf.

10 Patienten (8,5%) erlitten ein Polytrauma Grad II und III nach *Schweiberer* und *Sauer*.

unbekannt	1
keine Zusatzverletzungen	64
Zusatzverletzungen	43
Schädelfraktur	5
SHT	14
Thorax Organe	14

davon Pneu	5
Hämatothorax	4
Thorax knöchern	14
obere Extremität	21
Abdomen	4
BWS / LWS	22
Becken	3
untere Extremität	5
Polytraumen	10

Tab. 6: Begleitverletzungen bei Verletzungen der unteren HWS (n=118, Mehrfachnennungen mögl.)

Operationsindikationen

So wurde die Operation wegen *neurologischen Ausfällen* nach ASIA A bis D bei 27 Patienten durchgeführt.

86-mal wurde aufgrund primärer Instabilität bzw. Fehlstellung stabilisiert.

In 32 Fällen musste die Operationsindikation bei *chronischer Instabilität* gestellt werden.

Bei 10 *polytraumatisierten* Patienten wurde die untere HWS mitversorgt.

Operationszeitpunkt

Der Zeitraum zwischen Unfall und operativer Versorgung betrug im Mittel 34 Tage (0 Tage bis knapp 5 Jahre). Die meisten Patienten (29) wurden noch am Unfalltag operiert.

Ein Patient zog sich eine HWK 3-Kompressionsfraktur mit kompletter Querschnittssymptomatik zu, 5 Jahre später hatte er zunehmende Probleme mit Instabilität in den Segmenten 2 - 4 und ausgeprägter Kyphose v.a. im Segment HWK 3-4, sodass eine ventrale Spondylodese HWK 2 - 4 durchgeführt wurde.

Eingriffsart

Insgesamt wurden bei 118 Patienten 119 Operationen durchgeführt.

100 Eingriffe wurden nur von *ventral* durchgeführt, isoliert *dorsale* Operationen erfolgten 7-mal. *Dorsoventral einzeitig* musste 10-mal stabilisiert werden, *dorsoventral zweizeitig* 2-mal.

Zwei Patienten wurden zweizeitig an der oberen und unteren HWS operativ versorgt.

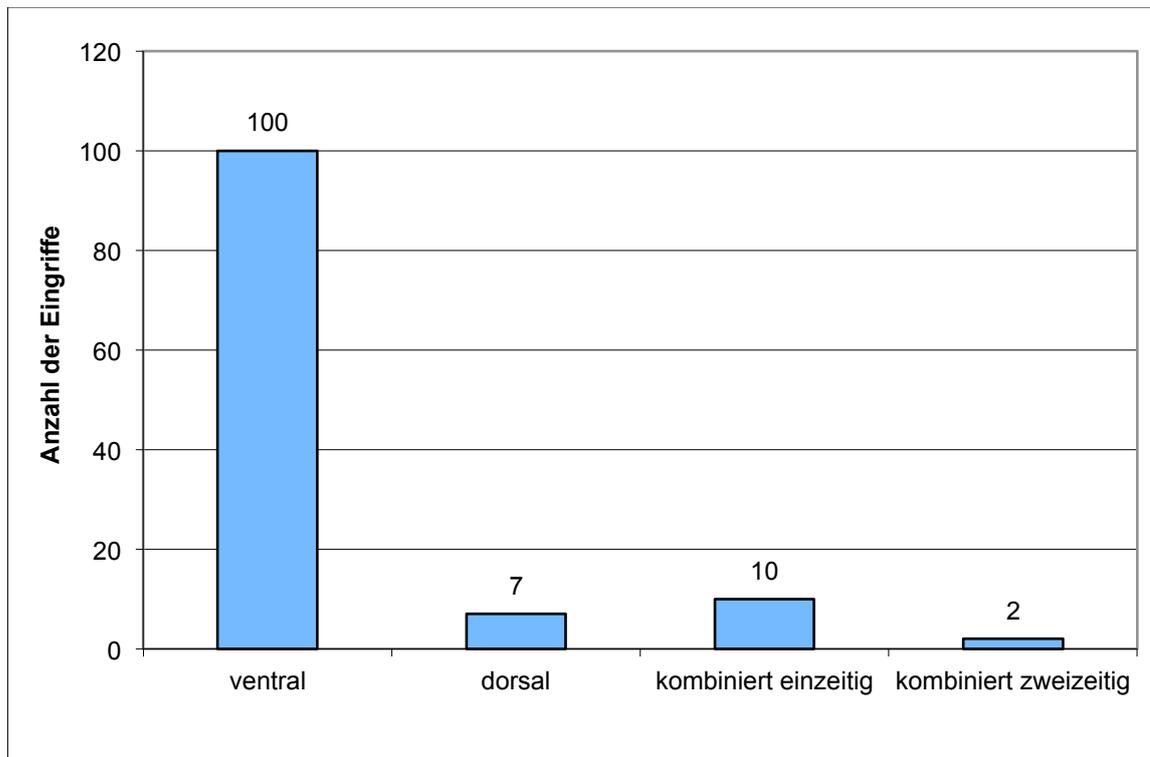


Abb. 58: Anzahl der verschiedenen Eingriffsarten (n=119)

Implantate und Spongiosa

Insgesamt erfolgten 119 Operationen an der unteren HWS, dabei wurden 130 Implantate eingebracht.

112-mal wurde zusätzlich ein CS-Span bzw. Spongiosa eingebracht (entnommen 6-mal vom hinteren und 106-mal vom vorderen Beckenkamm).

Von ventral erfolgte die Stabilisierung 110-mal mit einer winkelstabilen HWS-Verriegelungsplatte aus reinem Titan nach Morscher, wie von Arnold beschrieben [13] und 2 mal mit Drittelrohrplatten.

Von dorsal wurde 2-mal eine Cerclage, 9-mal eine Hakenplatte und 7-mal eine Drittelrohr- oder Mini-Platte eingebracht.

Eine genaue Übersicht zeigt folgende Tabelle:

Implantat dorsal	Implantat ventral	Transplantation	Entnahmestelle
Cerclage: 2	H-Platte: 109	Autogene Spongiosa: 1	Hinterer Beckenkamm: 6
Hakenplatte: 9	Anderes Plattensystem: 2	Autogener CS-Span: 112	Vorderer Beckenkamm: 106
Anderes Plattensystem: 7	Keines: 7	Keine: 6	Keine: 7

Tab. 7: verwendete Implantate und Knochentransplantation untere HWS

Weitere Fragebogenauswertung

Die *Krankenhausaufenthaltsdauer* betrug im Mittel 24,6 Tage (zwischen 1 und 37 Tage).

Postoperativ führten 42 Patienten eine *stationäre Reha* durch.

Von allen befragten Patienten machten bis auf 4 postoperativ eine ambulante *Physiotherapie* von mindestens 2 Wochen Dauer.

Die *postoperative Arbeitsunfähigkeit* betrug im Mittel 23,5 Wochen (0 bis 158). Bei der Auswertung der *postoperativen Arbeitsfähigkeit* waren 51 von den 91 erreichten Patienten wieder im alten Beruf tätig, 5 schulten um. 12 Patienten waren zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung immer noch arbeitsunfähig, 21 bereits berentet und 2 haben durch den Unfall ihre Arbeitsstelle verloren.

Eine prozentuale Auflistung zeigt folgendes Diagramm:

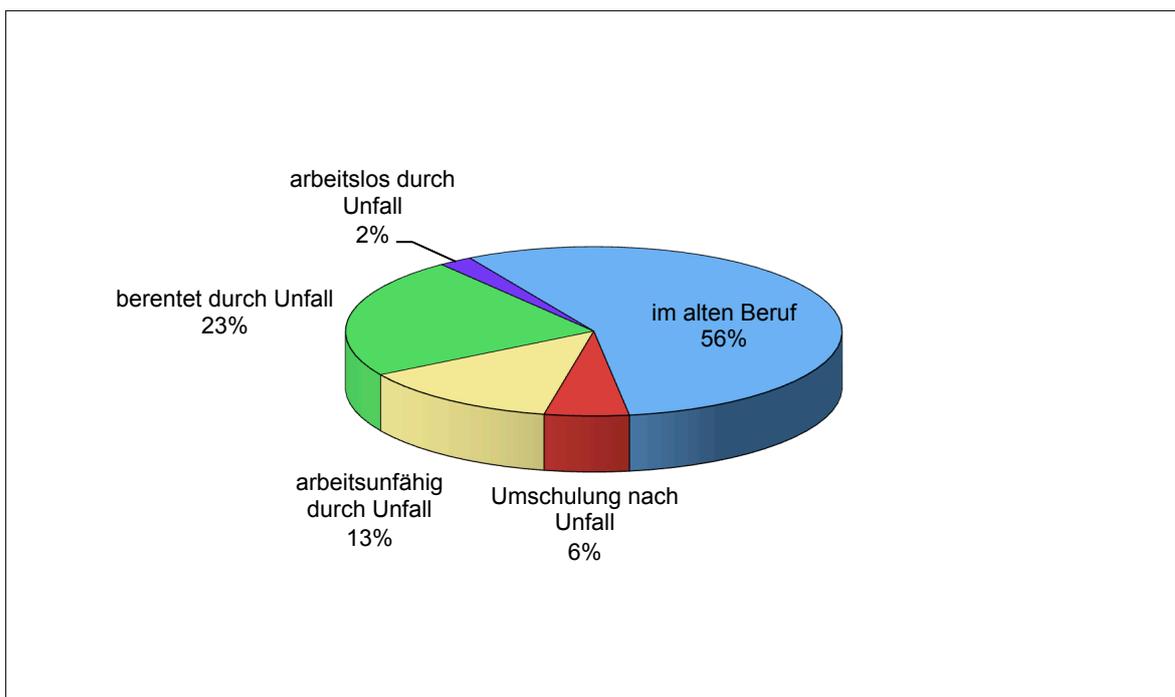


Abb. 59: postoperative Arbeitsfähigkeit (n=91)

Es konnten 92 Patienten nach ihrer *Zufriedenheit* und dem Ergebnis mit der Operation befragt werden.

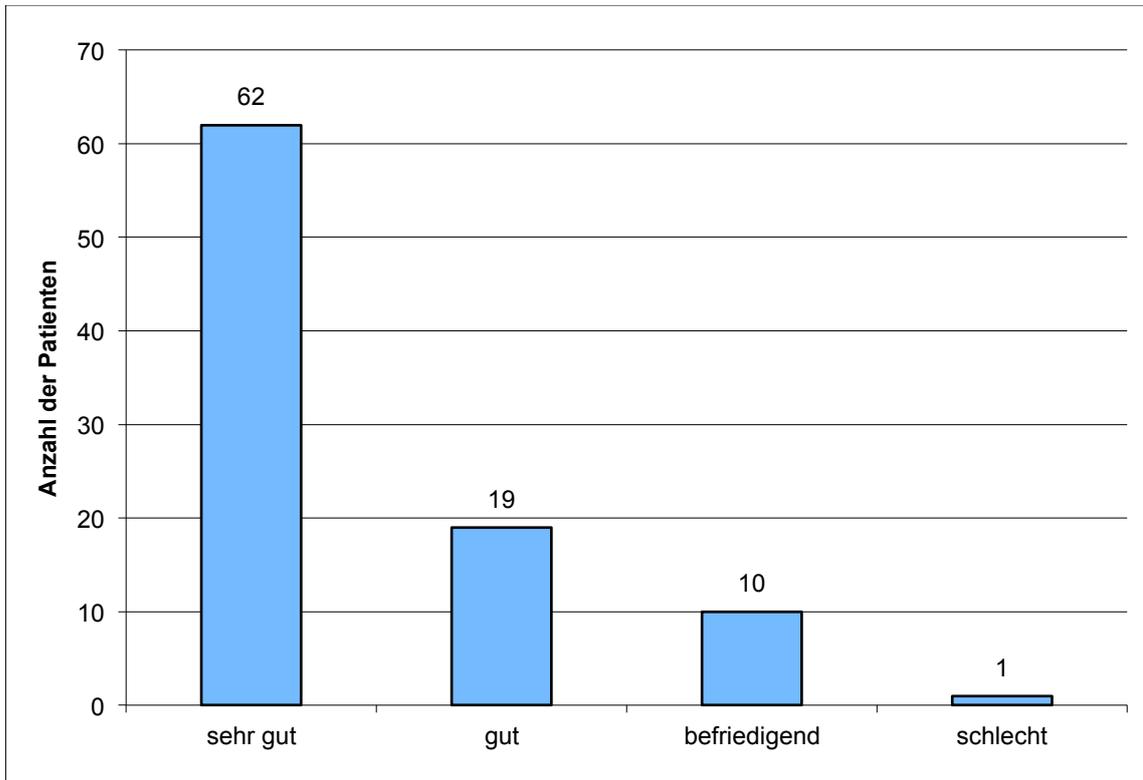


Abb. 60: Patientenzufriedenheit mit der Operation und dem Ergebnis (n=92)

Klinische Nachuntersuchung

Funktionelle Ergebnisse

Postoperativ kommt es zu Bewegungseinschränkungen in allen Ebenen. Die minimalen und maximalen Bewegungsausmaße zeigt folgende Tabelle.

Inkl.	Rekl.	Rot re.	Rot li.	Seit re.	Seit li.
10°	10°	30°	25°	10°	10°
45°	70°	85°	85°	75°	80°

Tab. 8: Bewegungsausmass postoperativ

Neurologische Ergebnisse

Bei den Patienten mit Verletzungen der unteren HWS traten präoperativ 67 neurologische Ausfallserscheinungen auf (56,8%). Postoperativ kam es in 26 Fällen zu einer Verbesserung (37,3%), in 6 Fällen (9%) zu einer Verschlechterung (von ASIA E nach D aufgrund von Wurzelreizungen).

In 5 von 24 Fällen blieb die primäre Querschnittssymptomatik ASIA A postoperativ bestehen, 3 davon waren polytraumatisiert.

Eine genaue Darstellung der neurologischen Veränderungen zeigt folgende Tabelle:

ASIA-Einteilung	prä-op	post-op
A (complete)	24	5
B (sensory only)	2	2
C (motor useless)	3	3
D (motor usefull)	38	30
E (recovery)	51	58
unbekannt/entfällt	1	21
Neurolog. Ausfälle	67	40
<u>Verschlechterung:</u>		
6 x	E	D
<u>Verbesserung:</u>		
2 x	A	B
3 x	A	C
2 x	A	D
2 x	C	D
1 x	C	E
16 x	D	E
Veränderungen Neurologie:	31	

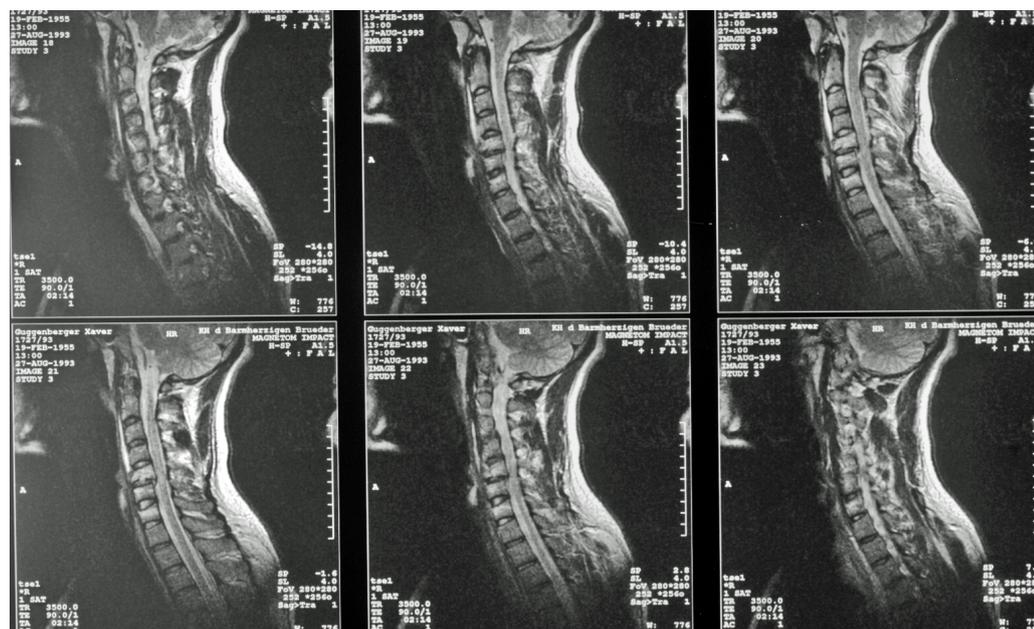
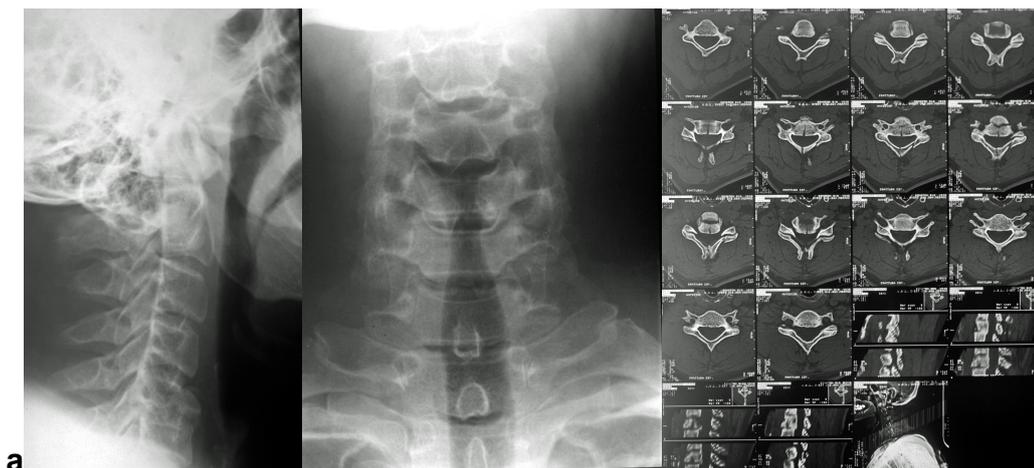
Tab. 9: neurologische Ergebnisse der unteren HWS

Radiologische Ergebnisse

Es konnten 94 Patienten radiologisch nachuntersucht werden.

Bei 93 war die Spondylodese knöchern durchbaut, in 1 Fall zeigte sich keine Durchbauung. Hier handelt es sich um den Patienten, der aufgrund einer Instabilität in HWK 5-6 nach HWK 4-5-Spondylodese bisegmental, von HWK 4 bis 6 stabilisiert wurde. Bei der Nachuntersuchung war die untere Spondylodese nicht vollständig knöchern durchbaut, es zeigt sich eine zunehmende Kyphosierung.

73 *Implantate* waren unverändert, 20 waren bereits wieder entfernt und bei einem Patienten waren die beiden unteren Schrauben der H-Platte bei allerdings knöchern durchbauter Spondylodese gebrochen.



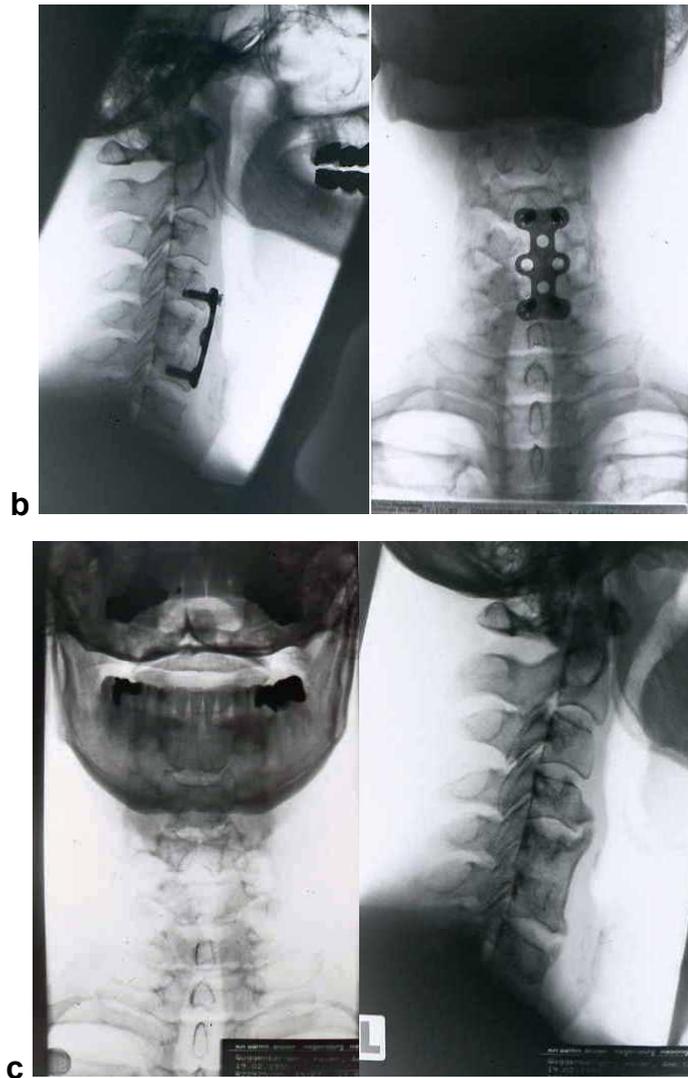


Abb. 61: HWK 5-Luxationstrümmerfraktur nach Kopfsprung in flaches Wasser
a Diagnostik mit Röntgen in 2 Ebenen, CT und MRT der Halswirbelsäule
b Versorgung mit ventraler Spondylodese, Einbringen eines kortiko-
 spongiösen Spanes zwischen HWK 5 und 6, temporäre Fixation von HWK 4
 bis HWK 6 mit H-Plättchen
c Nach Entfernung der Platte

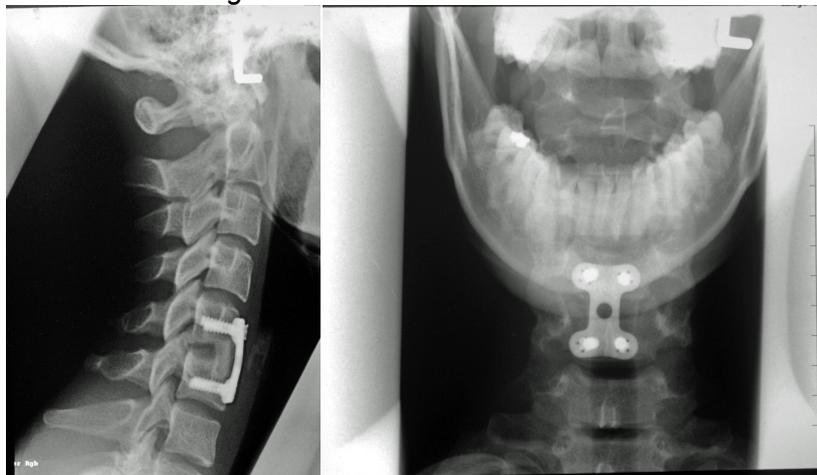


Abb. 62: ventrale Spondylodese HWK 5-6 mit kortikospongiösem Span und
 winkelstabiler H-Platte bei HWK 5-Fraktur (s. Abb. 19). Vollständige
 knöcherne Einheilung des eingebrachten Knochenspanes

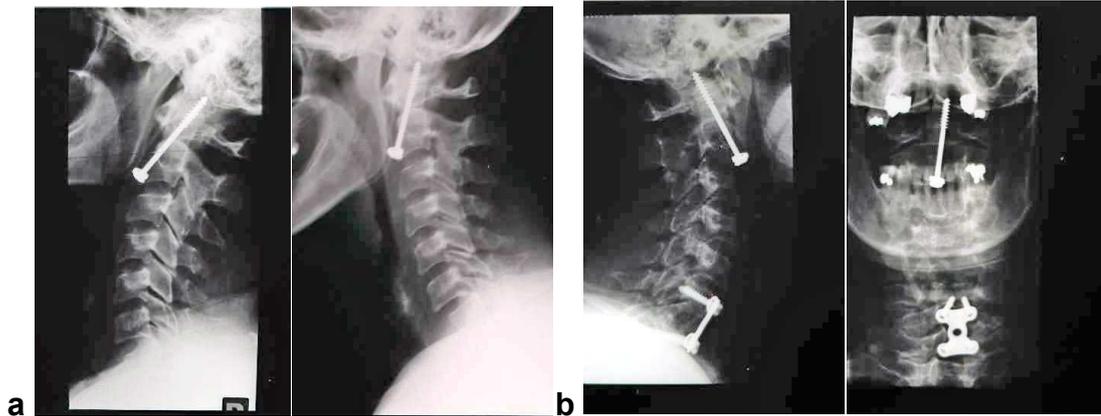


Abb. 63: a Nach Densverschraubung erneuter Sturz ca. 1 Monat später mit Luxation HWK 6-7
 b Versorgung mit ventraler Spondylodese HWK 6-7

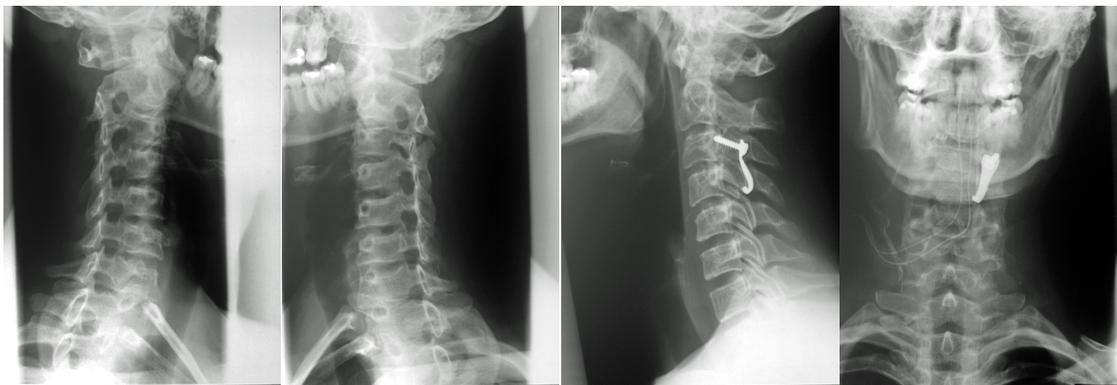
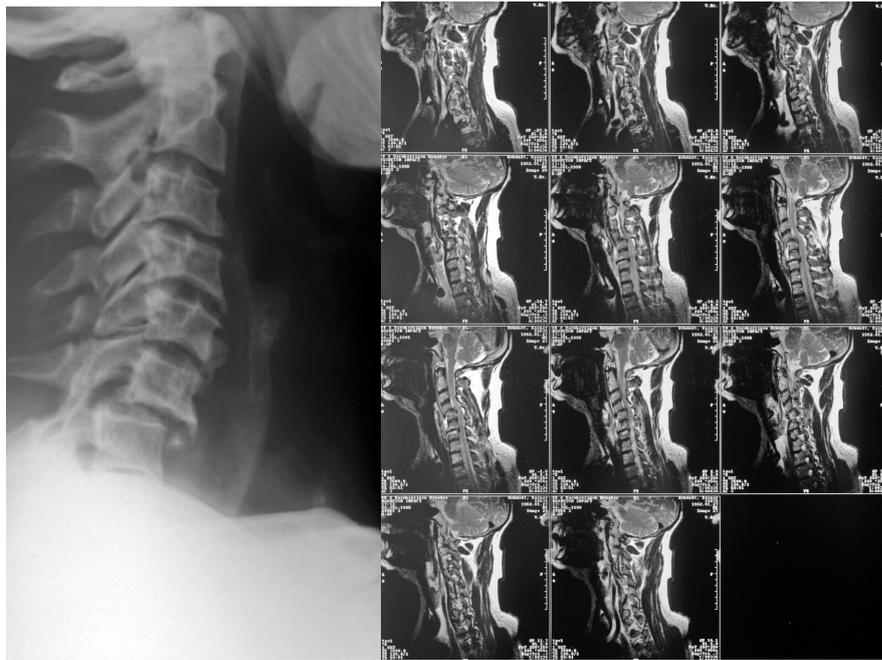
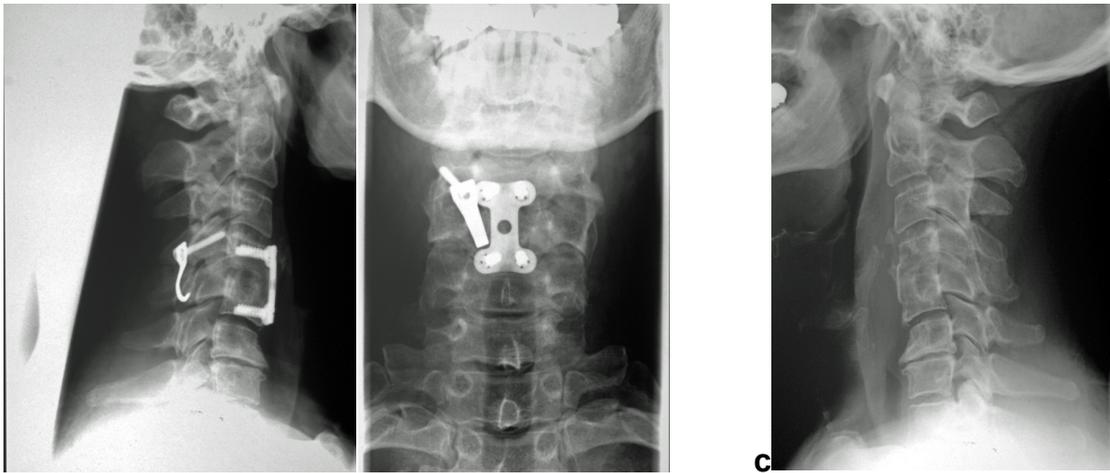


Abb. 64: verhakte HWK 3-4-Luxationsfraktur links, versorgt mit dorsaler Hakenplatte



a



b

c

*Abb. 65: a Rechtsseitig verhakte Luxation HWK 4-5 mit Bandscheibensequester im Spinalkanal.
 b dorsoventrale Spondylodese mit kortikospongiösem Span, ventraler H-Platte und dorsaler Hakenplatte
 c nach Metallentfernung*

Komplikationen

Es traten 13 (10,9%) eingriffsspezifische und 12 (10%) allgemeine postoperative Komplikationen auf.

Eine genaue Darstellung und ihre Konsequenzen zeigt folgende Tabelle.

eingriffsspezifische Komplikationen		
inkomplette Vorderhornschädigung C7/Th1 re<li		
leichte Parese C4/5 re	->	komplette Remission
Stimmbandparese li	->	komplette Remission
Liquorfistel	->	operative Revision
Schraubenbruch nach ventraler Spondylodese	->	keine OP, da Spondylodese durchbaut
Nachblutung	->	Revision
Wurzelirritation C5/6 li		
Wurzelläsion Vorderhorn C5/6 li	->	Rückbildung
verbliebener BS-Sequester C4/5 dorsal mit persistierenden neurologischen Beschwerden im linken Arm	->	Revision und Spondylodese von ventral 1 Woche später
Nachblutung	->	Revision
lose Spreizschraube nach ventraler Spondylodese	->	Revision mit Entfernung der Spreizschraube
Instabilität und Fehlstellung HWK 5/6 nach ventraler Spondylodese HWK 4/5	->	Bisegmentale Spondylodese HWK 4 bis 6
Wurzelreizung C7 re	->	Remission
allgemeine Komplikationen		
8 Pneumonien	->	4 Tracheotomien, 1 sept. Multiorganversagen
toxisches Nierenversagen durch Antibiose		
Herz-Kreislaufversagen	->	Exitus
respiratorische Insuffizienz	->	Exitus
Harnwegsinfekt bei Dauerkatheter		

Tab. 10: Komplikationen untere HWS

4. Diskussion

Die vorliegende Studie beschreibt 181 Patienten mit Verletzungen der Halswirbelsäule. Insgesamt mussten 188 Operationen bei 196 Verletzungen durchgeführt werden.

Bei unserem Patientengut handelte es sich um 124 Männer (68,5%) und 57 Frauen (31,5%). Der Altersdurchschnitt betrug 44 Jahre (4-92 Jahre). Diese Daten decken sich auch in etwa mit anderen großen Studien [5,18,30,38,52,55,67]. Wie in der Sammelstudie der DGU bereits festgestellt wurde [52], so waren auch in der vorliegenden Arbeit die Patienten mit Verletzungen der oberen WS älter. Es gibt zwei Häufigkeitsgipfel der Verletzten, und zwar zwischen dem 20. bis 40. Lebensjahr und ab dem 60. Dieser 2. Häufigkeitsgipfel ist lt. Bühren [34,35] durch die zunehmende Enge des Spinalkanals im höheren Alter bedingt.

65 Patienten (35%) erlitten Verletzungen der oberen, 118 Patienten (64%) der unteren HWS, in 1% der Fälle waren sie an der oberen und unteren HWS lokalisiert. Auch Bühren [35,52] und Gleizes [45] beschreiben in ihren Studien eine ähnliche Verteilung.

144 Patienten (79,6%) konnten nachuntersucht werden, der Nachuntersuchungszeitraum nach der Erstversorgung betrug durchschnittlich 35 Monate (5 Monate bis zu 8 Jahre und 8 Monate). Auch hier stimmen die Zahlen weitgehend mit anderen Studien überein [10,18,55,67].

4.1 Obere HWS

Kollektivgröße

An der oberen HWS wurden 65 Patienten behandelt, 11 Patienten waren zum Nachuntersuchungszeitpunkt bereits verstorben. Ähnliche Patientenzahlen liegen bei den Studien von Arand [9,10], Blauth [17] und Henry [50] vor, Böhler [22] hat 109 direkte Verschraubungen des Dens durchgeführt, Gleizes [45] berichtet von 116 Patienten, die er an der oberen HWS behandelt hat.

Alters- und Geschlechtsverteilung

Das Durchschnittsalter der Patienten bei Verletzungen der oberen HWS beträgt in der vorliegenden Studie 52 Jahre. Bei Gleizes [45] und bei Grob [46] liegt das Durchschnittsalter darunter (44,8 Jahre bzw. 49,7). Auffällig ist allerdings in unserem Patientengut, dass das Durchschnittsalter der Verletzungen der oberen HWS höher ist als bei der unteren HWS (38,9 J.). Zu diesem Ergebnis kommt auch Kocks [67]. Dies spricht für die Annahme, dass die Fraktur der oberen HWS – und hier v.a. die Densfraktur – eine Verletzung von älteren Patienten ist.

37 Patienten (56,9%) waren männlich, der Häufigkeitsgipfel liegt in der Gruppe der 20- bis 29-Jährigen.

Bei den 28 weiblichen Patienten (43,1%) liegt der Häufigkeitsgipfel ab dem 70. Lebensjahr, was die Annahme bestätigt, dass es sich bei den Frakturen der oberen HWS v.a. um Verletzungen der älteren Frauen handelt.

Auch in anderen Studien sind die Männer häufiger betroffen als die Frauen [3,10,17,46,50,67,84,85]. Bei Blauth [17] beträgt das Durchschnittsalter der Männer 48, das der Frauen jedoch 64 Jahre.

Verteilung auf Segmente

Es wurden in unserer Studie bei 68 Patienten 74 Verletzungen der oberen HWS festgestellt. 3 davon waren Begleitverletzungen von Frakturen der unteren HWS. Von diesen 68 Patienten mussten 65 operiert werden, 4 davon dorsoventral.

Von den Verletzungen überwogen die Densfrakturen mit 68,9% deutlich vor den hanged man- (9,5%) und den Jefferson-Frakturen (6,8%). Die primär diagnostizierten Denspseudarthrosen waren ebenfalls mit 8,1% vertreten. Arand [9] und Bühren [35] kommen zu einem ähnlichen Ergebnis, die Spondylolisthesen HWK 2 sind in ihren Studien allerdings mit 20 - 25% dtl. höher angesiedelt. Auch die Verletzungen des Atlasrings sind bei Bühren [35] und auch bei Kortmann [73] mit 17 bzw. 13% mehr. Gleizes [45] beschreibt bei 116 Patienten 57 (49,1%) Dens-, 43 hanged man (37,1%) und 27 (23,3%) Atlasfrakturen, d.h. es liegen hier Mehrfachverletzungen vor.

Unfallursachen

Häufigste Ursache für die Verletzungen der oberen HWS waren die Verkehrsunfälle mit 57,6%, gefolgt von den einfachen Stürzen (38%), v.a. der älteren Patienten. Stürze aus Höhen über 2 Meter machten nur 3% der Unfallursachen aus. Eine ähnliche Verteilung wird auch in allen anderen Studien beschrieben [34,45,55].

Zusatz- und Begleitverletzungen

25 von 65 Patienten (38,5%) erlitten eine isolierte Verletzung der oberen HWS. Bei 12,3% der verunfallten Patienten lag ein Polytrauma vor. Auch Bühren und Hofmeister beschreiben, ähnlich wie Müller [84], in ihren Studien [34,35,52] den Anteil von isolierten HWS-Verletzungen mit < 45%, die weiteren von uns beschriebenen Begleitverletzungen waren ebenfalls ähnlich verteilt. Gleizes (45) hat mit 69% einen höheren Anteil an isolierten HWS-Verletzungen beschrieben, dafür ist der Anteil an Schädel-Hirn-Traumen mit 8% geringer als in der vorliegenden Arbeit (21,5%).

Operationsindikationen

Bei 65 Patienten erfolgte 54-mal (83,1%) die operative Stabilisierung aufgrund von primären Instabilitäten bzw. einer Fehlstellung der oberen HWS, 1 Patient wies dabei einen kompletten Querschnitt ASIA A auf.

8 Patienten wurden aufgrund einer Pseudarthrose bzw. einer chronischen Instabilität versorgt.

8 Patienten erlitten ein Polytrauma, bei 3 (37,5%) davon wurde eine komplette Querschnittssymptomatik ASIA A diagnostiziert.

Präoperativ wiesen 7 Patienten (10,8%) eine neurologische Symptomatik auf. Auch in den Studien von Bühren [34,35] werden bei 9% bzw. 12% der Patienten mit Verletzungen an der oberen HWS neurologische Ausfälle beobachtet. Böhler beschreibt bei 109 Patienten 6 neurologische Defizite präoperativ (5,5%), bei Gleizes [45] liegt der Anteil bei 7,8%, bei Müller [84] bei 11,1% (diese Patienten waren polytraumatisiert).

Operationszeitpunkt

41 von den 70 Operationen (58,6%) wurden in der 1. Woche nach Unfall durchgeführt. Auch Aebi [3] verschraubte in seiner Studie 32 Densfrakturen innerhalb der 1. Woche nach Unfall, bei Illgner [55] waren es 56%.

Art der Eingriffe und der Implantate

Bei 65 Patienten waren 68 operative Eingriffe nötig.

Es erfolgten 55 Eingriffe von ventral (3 am Atlas, 52 am Axis), 10 von dorsal und 4 dorsoventral, wobei hier eine Operation zweizeitig durchgeführt wurde.

Insgesamt wurden bei den 68 Operationen 78 Implantate verwendet. Von ventral wurden in 50 Fällen (73,5%) Spongiosaschrauben bei Densfrakturen eingebracht, 9-mal (18%) erfolgte eine zusätzliche Stabilisierung mit einer Antigleitplatte. 4-mal (5,9%) wurde eine ventrale winkelstabile H-Platte verwendet, 1-mal (1,5%) eine ventrale Drittelrohrplatte bei transoraler Verschraubung einer vorderen Atlasbogenfraktur.

Von dorsal wurden 14 Eingriffe notwendig, 9-mal erfolgte eine dorsale Fusion nach Gallie mit Cerclage, 4-mal eine Verschraubung (entweder nach Magerl oder nach Judet) mit Spongiosaschrauben, 1-mal wurde eine Miniplattenosteosynthese am hinteren Atlasbogen durchgeführt.

Auch in den anderen Studien [3,9,10,17,22,50,84] wurden zur Densverschraubung 1 oder 2 Spongiosaschrauben, meist kanüliert, verwendet. Böhler [22] hat bei 109 Patienten ebenfalls in 18,3% (20-mal) zusätzlich eine ventrale Abstützplatte angebracht. Knöringer [66] hat die Densfrakturen mit einer Doppelgewindeschraube stabilisiert, eine zusätzliche Abstützplatte war bei diesem Verfahren nicht nötig, eine Irritation des Bewegungssegmentes zwischen HWK 2 und 3 wurde nicht beobachtet.

Arbeitsfähigkeit und Patientenzufriedenheit postoperativ

Nur 32 % der Patienten konnten nach der operativen Versorgung an der oberen HWS wieder ihrem alten Beruf nachgehen, 39% waren berentet, 8% am Tag der Nachuntersuchung immer noch arbeitsunfähig, 2% bereits arbeitslos, 2% unterzogen sich einer Umschulungsmaßnahme. Das Ergebnis der restlichen

17% blieb unbekannt. 52,3% der Patienten bewerteten das OP-Ergebnis als sehr gut, sie waren beschwerdefrei, 21,5% als gut.

Grob [46] hat nach dorsaler Fusion von HWK 1 mit HWK 2 keine subjektiven Ergebnisse festgestellt, Illgner [55] hat keine Trennung von oberer und unterer HWS durchgeführt, sodass diese Studie nicht ohne weiteres als Vergleich herangezogen werden kann. Hier sind 72,4% der Patienten postoperativ beschwerdefrei.

Bei Müller [84] waren nur 17,8% der Patienten nach direkter Densverschraubung beschwerdefrei, die restlichen klagten meist über Nacken- oder Hinterhauptschmerzen, teilweise bewegungsabhängig.

Leider wird auf die sozialen Auswirkungen der Verletzungen der oberen HWS in den meisten Studien nicht eingegangen, obwohl die Folgekosten für die Krankenkassen und die Unfallversicherungen durch die langen Ausfallzeiten der Patienten doch erheblich sind.

Funktionelle Ergebnisse

Die stärksten Einschränkungen der Reklination, Rotation und Seitneigung beobachteten wir nach Densverschraubungen, die geringste Inklination war nach der Fusion von HWK 1 mit HWK 2 möglich.

Aebi [3] konnte keine systematische Nachuntersuchung durchführen, Arand [9] beschreibt nach Fusionen von HWK 1 mit 2 v.a. eine Rotationseinschränkung um je 25° nach rechts und links, Grob [46] hat nach gleicher Operation keine objektiv und subjektiv schlechten Ergebnisse festgestellt. In der Nachuntersuchung von Henry [50] nach 81 direkten Densverschraubungen haben 43 Patienten (53,1%) die volle Bewegung, 6 Patienten (7,4%) beklagen eine Bewegungseinschränkung von > 25%. Eine signifikante Einschränkung der Rotation (<100° Gesamtrotation) musste Müller [84] bei 8 von 17 nachuntersuchten Patienten (47,1%) feststellen.

Insgesamt muss man festhalten, dass die meisten Studien wenig Wert auf die Überprüfung der postoperativen Beweglichkeit legen.

Neurologische Ergebnisse

4 der 68 Patienten (5,9%) kamen präoperativ mit einer kompletten Querschnittssymptomatik in die Klinik, 3 davon waren polytraumatisiert. Postoperativ fand sich 2-mal eine Verbesserung der Symptomatik zu ASIA D (2,9%), in 1 Fall (1,5%) blieben die neurologischen Ausfälle ASIA A unverändert, 1 Patient verstarb 4 Tage postoperativ bei hohem Querschnitt nach Densfraktur. Bei einem Patienten veränderte sich die neurologische Symptomatik nach der Densverschraubung von ASIA E nach ASIA A. Grund war eine Fehllage der Schraube, welche die hintere Kortikalis durchbrach und das Rückenmark schädigte. Trotz schnellstmöglicher Revision kam es zu keiner Besserung mehr.

Böhler beschreibt in seiner Arbeit [22] 6 neurologische Ausfälle bei 109 Patienten (5,5%). Postoperativ kam es bei 4 Patienten (3,7%) zu einer Verbesserung bzw. zu einem vollständigen Rückgang der Symptomatik.

Gleizes [45] stellte bei 5 von 116 Patienten (4,3%) neurologische Veränderungen präoperativ fest, 2 davon wiesen einen kompletten Querschnitt Typ Frankel A auf. Postoperative Veränderungen werden allerdings nicht erwähnt.

Auch Kocks [67] hat in seiner Studie über Densfrakturen eine ähnliche Anzahl an präoperativ festgestellten neurologischen Ausfällen beschrieben (3,5%). In 6,9% kam es postoperativ zu einer Verbesserung. Allerdings ist die Gesamtzahl der Patienten mit 29 relativ gering.

Koller [71] beschreibt in seiner Arbeit über die traumatische Spondylolisthese HWK 2 und 3 von 23,5% neurologisch betroffener Patienten. Die erhöhte Anzahl hier ist zu erklären durch die Instabilität des Segmentes bei der sogenannten hanged man-Fraktur.

Müller [84] hat bei 28 Patienten mit Densverletzungen 2 neurologische Ausfälle präoperativ festgestellt (11,1%), es handelte sich hier um Polytraumatisierte. Postoperativ kam es in 1 Fall zu einer Verbesserung der Symptomatik. Die Aussagekraft dieser Studie ist bei n = 28 allerdings ebenfalls gering.

Radiologische Ergebnisse

58 Patienten konnten im Rahmen der Nachuntersuchung geröntgt werden. 54-mal (93,1%) zeigte sich eine knöcherne Durchbauung der Fraktur, 4-mal eine Pseudarthrose nach Densverschraubung (6,9%). In 1 Fall fand sich ein Bruch der Schraube nach Densosteosynthese, die Fraktur war allerdings knöchern durchbaut.

Auch Aebi [3] und Henry [50] beschreiben eine knöcherne Heilung nach Densverschraubung von 93 bzw. 92%. Eine verzögerte Heilung fand sich bei Aebi in 15,6%, die Frakturen waren allerdings alle innerhalb eines Jahres durchbaut. Des Weiteren wurde 22 Monate nach Densverschraubung in einem Fall eine Pseudarthrose diagnostiziert, sowie 1 Schraubenbruch ohne Probleme nach Densosteosynthese.

Arand [9,10] beschreibt wie bei Densverschraubungen eine Pseudarthrosenrate von < 5%, bei dorsalen Fusionen von HWK 1 und 2 von 10%.

Blauth [17] hat 8,6% Pseudarthrosen nach Densverschraubungen festgestellt, Müller [84] 8,3%.

Bei Böhler [22] wurde im Rahmen der Nachuntersuchung von 109 Patienten nach Densfrakturen in 11% noch ein Frakturspalt gesehen.

Komplikationen

In der vorliegenden Arbeit traten bei 68 Patienten 10 (14,7%) eingriffsspezifische Komplikationen auf (s. Tab. 5), 7-mal musste eine erneute Operation durchgeführt werden. 2 Patienten mit Denspseudarthrosen nach direkter Verschraubung waren beschwerdefrei, eine Densfraktur war knöchern konsolidiert, die Schraube allerdings gebrochen – hier waren keine erneuten Eingriffe nötig.

Bei einem Patienten mit Densfraktur ohne neurologische Ausfälle wurde nach Verschraubung eine vollständige Querschnittssymptomatik nach ASIA aufgrund der Schraubenfehlage festgestellt. Trotz schnellstmöglicher Revision kam es zu keiner Besserung mehr.

Auch Aebi [3] und Kocks [67] mit je 17%, sowie Arand [9,10] mit 20 bzw. 24% und Müller [84] mit 17,9% geben eine ähnliche Komplikationsrate an, Blauth [17] hat mit 6% eine dtl. geringere Rate.

4.2 Untere HWS

Kollektivgröße

In der vorliegenden Studie wurden 118 Patienten an der unteren Halswirbelsäule operiert, 119 Eingriffe waren nötig.

Mehrere Studien [5,7,18,38,55,67,81,105,115,127] weisen eine ähnliche Kollektivgröße auf und werden im Anschluss mit der eigenen Arbeit verglichen. Hofmeister und Bühren haben 1999 die Sammelstudie der DGU mit 544 Patienten veröffentlicht [52].

Jeanneret und Magerl [58] haben 108 Patienten (Durchschnittsalter 44 J.) mit dorsaler Hakenplatte versorgt, 89 Patienten konnten nachuntersucht werden. Diese Studie ist sehr speziell und kann mit den anderen gängigen Studien über die Verletzungen der unteren HWS nicht verglichen werden.

Koivikko [69] vergleicht bei 106 Verunfallten mit Verletzungen der unteren HWS die konservativen und operativen Therapieerfolge.

Alters- und Geschlechtsverteilung

Das Durchschnittsalter der Patienten beim Unfall liegt in der vorliegenden Arbeit bei 39,8 Jahren, wobei das männliche Geschlecht mit 74,6% überwiegt.

In den Veröffentlichungen, in denen ebenfalls das Durchschnittsalter der Verletzten am Unfalltag angegeben wurde [7,18,38,52,110,115,127], liegt dies zwischen 31,6 [127] und 44 Jahren [52].

Auch das männliche Geschlecht überwiegt mit einem ähnlichen Prozentanteil wie bei unserer Studie.

Auffällig bei den verunfallten männlichen Patienten ist der Häufigkeitsgipfel bei den unter 30-jährigen. Auch das wird in anderen Studien bestätigt [7,24,35,52].

Verteilung auf Segmente, Frakturarten

Häufigste Frakturart war die Luxationsfraktur mit 51,7%, gefolgt von den Kompressionsfrakturen (21,2%), den Luxationen / Subluxationen (15,25%) und Chronischen Instabilitäten (11,9%).

Eine ähnliche Verteilung zeigen die Veröffentlichungen von Blauth [18] und Kocks [67].

In den meisten Studien wird allerdings auf die Frakturarten nicht eingegangen, jedoch auf die Frakturhöhe. Hier stimmen die Daten mit den eigenen Ergebnissen überein, dass die Segmente HWK 5-6, HWK 6-7 und HWK 4-5 am meisten betroffen sind [34,35,38,48,52,67,68,69,74,81,92,110,119,127].

Es handelt sich, wie von Arand [9] beschrieben, meist um Typ B-Verletzungen.

Unfallursachen

In der großen Sammelstudie der DGU [52] mit 544 Patienten wird die Hauptursache für die Verletzungen der unteren Halswirbelsäule mit über 50% für Verkehrsunfälle angegeben, gefolgt vom Fall aus der Höhe (24%) und banalen Stürzen bei degenerativem Vorschaden (20%). 4% der Patienten wurden von einem Gegenstand getroffen. Eine fast identische Verteilung findet sich bei Blauth [18], Bühren [35], Reinhold [94] und Daentzer [38], Kocks [67] und Koivikko [69]. Illgner [55] hat mehr, Tscherne [114] und Zeilinger [127] haben weniger Verkehrsunfälle festgestellt.

Auch hier decken sich die Zahlen weitgehend mit der vorliegenden Arbeit, die Häufigkeit der Verkehrsunfälle beträgt 58%.

Zusatz- und Begleitverletzungen

In 54,2% trat eine isolierte Verletzung der HWS auf, bei der Sammelstudie der DGU [52] waren es 45%, ähnlich wie bei Koivikko [68] mit 50,7%. Kocks [67] beschreibt 71% isolierte HWS-Verletzungen, Tscherne [114] sogar 73,7%.

Es traten zum Teil erhebliche Begleitverletzungen auf, wie schwere Schädel-Hirn-Traumen (11,8%), Thoraxverletzungen (23,7%), Verletzungen der restlichen Wirbelsäule (18,6%), der oberen (17,8%) und der unteren Extremitäten (4,2%), des Beckens (2,5%) und des Abdomens (3,4%). In 8,5% waren die Patienten polytraumatisiert.

Bühren [34] untersuchte 154 posttraumatische Tetraplegiker, davon waren 9% polytraumatisiert. Dabei werden in jeweils 25% Zusatzverletzungen des Schädels und der Extremitäten und in je 10% der Wirbelsäule und des Thorax aufgeführt. Hier muss man allerdings beachten, dass in dieser Studie nicht in obere und untere Halswirbelsäule unterteilt wurde.

In der Sammelstudie der DGU [52] liegt die Anzahl der Polytraumen bei 8,5%, in 27,5% fanden sich schwere Schädel-Hirn-Traumen. Stammnahe Verletzungen des Thorax wurden in 25%, des Abdomens und des Beckens in 7,7%, Wirbelsäulenverletzungen in sonstiger Lokalisation in immerhin 10,8% der Fälle registriert. Die oberen Extremitäten (17,3%) waren ebenso wie in der vorliegenden Arbeit häufiger betroffen als die unteren (9,8%).

Kocks beschreibt in seiner Studie mit 118 Patienten in 71% der Fälle eine isolierte Verletzung der unteren Halswirbelsäule. Die Begleitverletzungen von Schädel (10,1%), Abdomen und Becken (5,9%) und der Extremitäten (26,1%) sind ähnlich wie in unserer Arbeit, die restliche Wirbelsäule (2,9%) und der Thorax (4,3%) waren weniger oft verletzt.

Operationsindikationen

In 22,9% wurde aufgrund neurologischer Ausfälle ASIA A bis D operativ stabilisiert, in 72,9% aufgrund primärer Instabilität bzw. Fehlstellung. In 27,1% erfolgte die Operation wegen einer chronischen Instabilität.

Eine genaue Aufschlüsselung nach einzelnen OP-Indikationen wird in keiner Studie durchgeführt, lediglich Illgner [55] unterscheidet zwischen akuten und chronischen Verletzungen.

Operationszeitpunkt

24,6% der Patienten wurden noch am Unfalltag operiert, 1 Patient wurde 5 Jahre nach dem Unfall mit erlittener HWK 3-Kompressionsfraktur und kompletter Querschnittsymptomatik bei zunehmender Instabilität von ventral zwischen HWK 2 und 4 stabilisiert. Deshalb beträgt in unserer Studie der mittlere Zeitraum zwischen Unfall und OP 34 Tage.

Aebi und Mohler [5] haben 100 Patienten an der HWS operiert, 93 davon in den ersten 6 Stunden nach Unfall.

Auch bei Blauth [18] reicht der Abstand zwischen Unfall und OP von 0 bis 110 Tagen, bei einem Mittel von 7 Tagen.

In der DGU-Sammelstudie [52] wurden 20% der Patienten noch am Unfalltag operiert, 29,1% am 1. bis 3. Tag nach Unfall, 22,1% in der 1. Woche, 17,5% in der 3. Woche und immerhin noch 10,5% ab der 3. Woche.

Auch bei Illgner [55] wurden 56% der akuten Fälle von HWS-Verletzungen innerhalb der 1. Woche nach Trauma operiert. Bei den chronischen Verletzungen reicht der Zeitpunkt von 3 Monaten bis zu 15 Jahren.

Osti [92] hat 12,9% seiner Patienten in den ersten 6 Stunden nach Unfall operiert, 23,5% zwischen 7 und 12 Stunden und 27,1% 13 bis 24 Stunden danach.

Art der Eingriffe und der Implantate

Bei 118 Patienten wurden 119 Operationen durchgeführt. In 100 (84%) Fällen erfolgte die Stabilisierung von ventral, 7-mal (5,9%) rein dorsal und 12-mal (10,1%) dorsoventral (einzeitig 10-mal, zweizeitig 2-mal).

Aebi [5] hat 100 Patienten nach operativer Therapie bei Verletzungen der HWS nachuntersucht. 50 Patienten wurden von ventral, 40 von dorsal und 10 dorsoventral stabilisiert. Allerdings trennt er bei der Auswertung der Zugangswege und Implantate nicht nach oberer und unterer HWS.

In der DGU-Sammelstudie [52] wurden an der unteren HWS 218 Operationen durchgeführt. Von ventral erfolgte in 84,1% der Fälle die Stabilisierung mit einem Implantat, von dorsal in 7,7% ohne und in 6% mit Implantat. Eine rein dorsale Versorgung erfolgte in 3,4% der Fälle, eine kombinierte dorsoventrale Operation wurde in 8,9% durchgeführt (einzeitig 2,1%, zweizeitig 6,8%). 1,6% wurden konservativ behandelt, v.a. bei Verletzungen der schwer zugänglichen Segmente C 5-6 und C 6-7.

Auch Kocks [67] beschreibt den Anteil an rein ventral versorgten Verletzungen der unteren HWS mit 79%, der Rest (21%) wurde kombiniert dorsoventral behandelt.

In der Studie von Koivikko [68] wurden 69 Patienten entweder konservativ (49,3%) oder operativ rein ventral mit Caspar-Platte und kortikospongiösem Span therapiert (50,7%).

Mestdagh [81], Osti [92], Stoll [110] und Tscherne [115] haben nur die Ergebnisse nach ventraler Spondylodese nachuntersucht. Stoll stellt in seiner Studie von 1995 die winkelstabile Verriegelungsplatte aus Titan vor, Tscherne beschreibt 1991 die Technik mit der winkelinstabilen H-Platte.

Auch Zeilinger [127] hat alle 327 Verletzungen der unteren HWS nur von ventral versorgt.

Vock [119] hat bei 82 Unfallverletzten nur in 3 Fällen (3,7%) eine dorsoventrale Stabilisierung vornehmen müssen, alle anderen Verletzungen heilten nach rein ventraler Fusion knöchern aus.

In der vorliegenden Arbeit wurden 119 Operationen durchgeführt, 130 Implantate wurden verwendet. Dabei wurde von ventral 110-mal eine winkelstabile H-Platte nach Morscher (92,4%) und 2-mal eine Drittelrohrplatte (1,7%) eingebracht.

Dorsal erfolgte die Stabilisierung 9-mal mit einer Hakenplatte (7,5%), 7-mal mit einer Drittelrohr- oder Miniplatte (5,9%) und 2-mal mit einer Cerclage (1,7%).

112-mal (94,1%) wurde zusätzlich ein kortikospongiöser Span bzw. Spongiosa eingebracht.

Blauth [18] beschreibt ebenfalls einen hohen Anteil (88,8%) an winkelstabilen H- oder Drittelrohrplatten bei den ventralen Spondylodesen.

In der DGU-Sammelstudie wurden von ventral v.a. winkelinstante Implantate eingebracht (67,1%), die von uns hauptsächlich verwendete winkelstabile H-Platte nach Morscher kam in 32,9% der Fälle zum Einsatz.

Der Bandscheiben- und Wirbelkörperersatz kann sowohl mit autologen und allogenen Knochenmaterialien als auch mit Wirbelkörperersatzimplantaten (Cages) durchgeführt werden. Der Beckenkammspan als Interponat hat den Vorteil, dass bei exakter technischer Ausführung des Einbringens eine sehr hohe Fusionsrate mit den anliegenden Wirbelkörpern erreicht wird [52]. Zudem ist bei der Verwendung eines autologen Knochenspanns eine hundertprozentige Verträglichkeit gegeben. Aus diesen Gründen wird der autologe Beckenkammspan noch immer als Standardtransplantat zum Bandscheiben- und Wirbelkörperersatz angesehen. In der hier untersuchten Serie kam ausschließlich autologer Knochen als Fusionsmaterial zum Einsatz.

Arbeitsfähigkeit und Patientenzufriedenheit postoperativ

Die postoperative Arbeitsunfähigkeit betrug im Mittel 23,5 Wochen (0 bis 158). 91 Patienten konnten postoperativ von uns befragt werden, 51 davon (56%) waren wieder in ihrem alten Beruf tätig, 21 (23,1%) berentet, 12 immer noch arbeitsunfähig (13,2%). 5 Patienten (5,5%) mussten aufgrund des Unfalls eine Umschulungsmaßnahme beginnen und 2 Patienten (2,2%) verloren durch die Verletzung und ihre Folgen ihre Arbeit.

Blauth [18] konnte 57 Patienten nach ventraler Spondylodese nachuntersuchen. 80,7% waren beruflich rehabilitiert, 12,3% berufsunfähig und 7% aufgrund des Alters bereits berentet. In dieser Studie wird allerdings nicht deutlich, ob die beruflich rehabilitierten Patienten wieder in ihrem alten Beruf tätig sind, oder ob sie auch nach Umschulungsmaßnahmen in das Arbeitsleben zurückfanden.

Mestdagh [81] gibt die durchschnittliche Arbeitsunfähigkeit mit 9 Monaten (3 Monate bis zu 3 Jahren) an. 81,25% der Patienten sind wieder arbeitsfähig, 66,25% wieder in ihrem alten Beruf, 15% können nur noch leichtere Arbeiten verrichten. 11 Patienten (13,75%) sind invalid und erwerbsunfähig.

Bei der Nachuntersuchung in unserer Studie konnten 92 Patienten über ihre Zufriedenheit mit dem Operationsergebnis befragt werden. In 67,4% der Fälle waren die Patienten sehr zufrieden, in 20,7% der Fälle bewerteten sie das Ergebnis als gut und in 10,9% als befriedigend. Nur 1 Patient (1,1%) war mit dem Ergebnis nicht zufrieden.

Nach Angaben von Aebi [5,7] klagten etwa 25% der Patienten nach einer ventralen Spondylodese über dauernde Schmerzen.

Blauth [18] untersuchte 89 Patienten mit instabilen traumatischen Läsionen der unteren HWS, die von ventral stabilisiert wurden. Nach 10 und mehr Jahren konnten 57 Patienten nachuntersucht werden, von denen 40 (70,2%) niemals unter Ruheschmerzen im HWS-Bereich litten. Unter Belastung waren 19 Patienten (33,3%) vollständig beschwerdefrei, 4 (7,0%) beschrieben ständige Schmerzen. 49 (86,0%) von 57 Patienten verneinten jede Einnahme von Medikamenten wegen Beschwerden im Bereich der HWS oder des Kopfes.

Auch bei Daentzer [38] waren 67,4% der Patienten nach ventraler Spondylodese völlig beschwerdefrei, 25,6% hatten leichte Nackenschmerzen, nur 7% klagten über stärkere Nackenschmerzen.

Illgner [55] beschreibt in seiner Nachuntersuchung von 116 Patienten nach operativer Stabilisierung von HWS-Verletzungen 84 schmerzfreie Patienten (72,4%), 20,7% der Patienten klagten über Nackenschmerzen, 12,1% über rezidivierende und 6% über bewegungsabhängige Kopfschmerzen. In 15,5% der Fälle hatten die Patienten Beschwerden beim Heben und Tragen schwerer Lasten.

Mestdagh [81] konnte 69 Patienten nach ventraler interkorporeller Spondylodese nachuntersuchen. Dabei beklagten 10 Patienten (14,5%) über seitlich von der Halsmuskulatur in den Nacken und die Schulter ausstrahlende, belastungsabhängige Schmerzen mit mäßiger Intensität, 8 Patienten (11,6%) gaben eine Nackensteife an. Er machte darauf aufmerksam, dass das Auseinanderhalten der Ursachen für die angegebenen Beschwerden schwierig sei. Ursächlich könnten die Beschwerden aufgrund von persistierenden Muskelatrophien durch mangelndes Training beruhen, oder aber sie sind durch Minderdurchblutung bedingt.

Tscherne [115] hat die postoperativen Ergebnisse von Beschwerden und Bewegung der HWS abhängig gemacht, sodass in seiner Studie die sehr guten Ergebnisse mit 48,8%, die guten mit 23,2%, die befriedigenden mit 13,4% und die unbefriedigenden mit 14,6% angegeben werden. In der letzten Gruppe war die Zeit zwischen Unfall und OP länger als bei den anderen Gruppen.

Funktionelle Ergebnisse

Das Prinzip der operativen Versorgung traumatischer Instabilitäten besteht darin, über eine knöcherne Verbindung mittels implantierter Beckenkammblocke die benachbarten Wirbel zu fixieren. Die Beweglichkeit und Leistungsfähigkeit der Wirbelsäule hängt von Form und Zustand der Bandscheibe ab. Durch diese veränderten mechanischen Verhältnisse kommt es zum Bewegungsverlust des versteiften Segments (Aufhebung der Beweglichkeit).

Bei der Nachuntersuchung unserer Patienten waren Bewegungseinschränkungen in allen Ebenen zu verzeichnen. Bei der Inklination betrug das Bewegungsausmaß von 10 bis 45 Grad, bei der Reklination von 10 bis 70 Grad, bei der Rotation re. von 30° bis 85°, li. von 25° bis 85° und bei der Seitneigung von je 10° bis 75° re., bzw. 80° links.

Arand [11] hat festgestellt, dass sich 1/3 der Patienten nach ventraler Spondylodese durch die Bewegungseinschränkung unwohl fühlt.

Bei Illgner [55] klagten 31,9% der Patienten nach operativ versorgten HWS-Verletzungen über eine Bewegungseinschränkung, die verminderte Rotation stört in 19% der Fälle.

Eine vermehrte Einschränkung der Rotation (um 2/3) nach dorsaler Fusion hat Kocks [67] in seiner Arbeit beschrieben.

Kortmann [73] hat die Verunfallten mit Verletzungen der oberen HWS nachuntersucht. Dabei ist nach konservativ behandelter Luxation von HWK 2 und 3 (18 von 28 Patienten) die Bewegung in diesem Segment deutlich schlechter als nach operativer Therapie (10 Patienten).

Lifeso [75] hat 32 Patienten, die konservativ oder von dorsal versorgt wurden, mit 18 Patienten, die frühzeitig von ventral operiert wurden, verglichen. Die erste Gruppe zeigte in 45% ein schlechtes Ergebnis mit zunehmenden Kyphosen oder Instabilitäten. Die von ventral versorgten Patienten waren knöchern gut verheilt und auch neurologisch verbessert.

Mestdagh [81] schrieb 1987 nach Untersuchungen von 130 Patienten mit anteriorer interkorporeller Fusion der unteren Halswirbelsäule, dass die ventrale Spondylodese eine Verminderung des Bewegungsumfanges bezüglich der Flexion/Extension und der Rotation um jeweils 1/4 verursacht. Weiterhin wies er daraufhin, dass auf Grund der Spondylodese eine kompensatorische Hypermobilität in Segmenten über und unter dem Span festzustellen sei, die jedoch nicht ausreicht, um die Beweglichkeit der spondylodesierten Abschnitte zu ersetzen. Allerdings gab er keine objektiven Bewegungsausmaße an, da die prozentuale Zunahme der Hypermobilität unklar bleibt.

Bei Untersuchungsergebnissen von Arand [11] betrug die radiologisch errechnete Funktionseinbuße durch Fusionsoperation der unteren Halswirbelsäule für die Flexion 27% und für die Extension 22% und entsprach somit annähernd den Ergebnissen von Mestdagh [81]. In den Untersuchungen von Mähring [80] belief sich die relative Gesamtbeweglichkeit der unteren Halswirbelsäule bei den 45 Einsegmentsspondylodesen durch Ausfall eines Segmentes theoretisch auf 83,3%, im Mittel auf 54,7% ($\pm 2,3\%$). Bei den Zweisegmentsspondylodesen liegt die theoretische, relative Beweglichkeit durch Ausfall von zwei Segmenten bei 66,7%, die relative Gesamtbeweglichkeit bei seinen Patienten im Mittel 43,1% ($\pm 5,93\%$), wodurch die Forderung, Fusionsstrecken auf das notwendige Minimum zu beschränken, unterstrichen wird.

Neurologische Ergebnisse

Das vermehrte Auftreten von HWS-Verletzungen mit neurologischen Symptomen ergibt sich aus den anatomischen und funktionellen Gegebenheiten

der HWS. Die möglichen Bewegungsausschläge in allen drei Ebenen des Raumes sind größer als in anderen Bereichen der Wirbelsäule. Es besteht eine enge Beziehung zum Rückenmark, das im Bereich der HWS seine größte Ausdehnung erreicht und hier für von außen einwirkende Kräfte relativ ungeschützt ist [55].

Für das weitere Leben des Patienten spielen die Entwicklungen der neurologischen Ausfälle eine entscheidende Rolle. Die Verschlechterung neurologischer Symptome im Behandlungsverlauf muss als wesentliche und schwere Komplikation gesehen werden. Die neurologischen Beschwerden stellen damit die gravierendsten der zurückbleibenden Beeinträchtigungen nach dem Unfall dar, v.a. wenn es sich um ein komplettes Querschnittssyndrom handelt.

Der neurologische Status, d.h. die sensiblen und motorischen Ausfälle, wurde in unserer Studie mit Hilfe der ASIA-Klassifikation dokumentiert.

In unserer Studie wiesen 43,2% der Patienten präoperativ keine neurologischen Defizite auf. 67 Patienten (56,8%) erreichten mit neurologischen Symptomen die Klinik (ASIA A-D). Bei 26 Patienten (38,8%) zeigte sich bei der Nachuntersuchung eine rückläufige Symptomatik, allerdings hatten 40 Patienten (33,9%) postoperativ immer noch neurologische Defizite. In 5 von 24 Fällen blieb die primäre Querschnittssymptomatik ASIA A auch postoperativ bestehen, 3 Patienten davon waren polytraumatisiert.

Eine Verbesserung von Grad A nach B ist bei 2 (3%) Patienten eingetreten, von A nach C bei 3 (4,5%) und bei 2 (3%) Patienten von A nach D. In weiteren 2 (3%) Fällen kam es zu einer Veränderung von ASIA C nach D, in 1 (1,5%) Fall von C nach E. Zur vollständigen Remission der Symptomatik (ASIA E) von Stadium D kam es in 16 Fällen (23,9%).

Eine postoperative Verschlechterung von ASIA E nach D aufgrund von Wurzelreizsyndromen wurde in 11,9% (6 Patienten) beobachtet.

Aebi [5] stellte bei 100 Patienten mit Verletzungen der Halswirbelsäule in einem Drittel der Fälle präoperativ neurologische Ausfälle fest. Allerdings werden in dieser Studie obere und untere Halswirbelsäule gemeinsam behandelt.

In einer weiteren Arbeit beschreibt Aebi [7] bei 86 Patienten mit HWS-Verletzungen in 50% der Fälle neurologische Defizite präoperativ.

Blauth [18] fand heraus, dass nur 22,5% der Patienten mit HWS-Verletzungen keinerlei neurologische Ausfälle aufweisen. Eine postoperative Verschlechterung trat nicht ein, in 67,6% der Fälle kam es zu einer Verbesserung um mindestens einen Grad der ASIA-Klassifikation. Eine signifikante Korrelation zwischen dem Zeitraum vom Unfall bis zur Operation und der neurologischen Erholung fand sich nicht.

Eine postoperative Verbesserung der neurologischen Symptomatik wurde bei ca. 10% der Patienten in der Studie von Bühren [35] beobachtet, eine Verschlechterung in 3%. Er beschreibt Ergebnisse aus einer Sammelstudie mit einer Fallzahl von 542 Patienten der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie, die alle relevanten traumatischen HWS-Verletzungen über drei Jahre aus 13 Kliniken erfasst.

In der gleichen Sammelstudie, veröffentlicht durch Hofmeister und Bühren [52], erreichte die Mehrzahl der Patienten (57%) ohne neurologisches Defizit die Klinik. Bei 43% der Patienten bestanden zum Zeitpunkt der Aufnahme neurologische Ausfälle (ASIA A bis D), 1/5 der Verunfallten hatten einen kompletten Querschnitt.

Bei Daentzer [38] wiesen 47% der Patienten präoperativ keine neurologischen Ausfälle auf, postoperativ waren es 68%, 24,2% waren rückläufig. Es trat keine Verschlechterung der Symptomatik auf.

Illgner [55] hat Patienten mit HWS-Verletzungen in akute und chronische Fälle unterteilt. In der Gruppe mit den akut Verletzten waren in 57,6% neurologische Ausfälle zu verzeichnen, in 85% kam es postoperativ zur Besserung.

Bei Kocks [67] erreichen 62,7% der Patienten die Klinik ohne neurologische Ausfälle, 22,9% haben schwere neurologische Ausfallserscheinungen, 12,7% der Patienten weisen eine komplette Querschnittsymptomatik ASIA A auf. Nach operativer Stabilisierung wurde bei der Nachuntersuchung eine Besserung des neurologischen Befundes bei 20% der Patienten, eine Verschlechterung bei 3,5% festgestellt.

In der Studie von Stoll [110], der die HWS-Verriegelungsplatte aus Titan vorstellte, kamen 38% der Patienten ohne neurologische Ausfälle in die Klinik, bei Tscherne [114] sind es 47,4%. Von den 30 Patienten (52,6%) mit neurologischen Ausfällen kam es 15-mal zu einer Besserung, 6-mal zu einer

kompletten Rückbildung, in 7 Fällen blieb die neurologische Symptomatik unverändert.

Auch Vock [119] berichtet über 55% neurologischer Ausfallserscheinungen präoperativ, in 2/3 der Fälle kam es postoperativ zu einer Besserung.

Zeilinger [127] hat bei 327 Patienten eine ventrale Spondylodese durchgeführt, 170 Patienten konnten nachuntersucht werden. In 29,4% der Fälle waren präoperativ keine neurologischen Ausfälle festzustellen.

In einem Punkt sind sich jedoch alle Autoren einig und zwar darin, dass Verletzungen der HWS mit neurologischer Symptomatik mit Dringlichkeit zu behandeln sind. Kortmann [72] ist der Meinung, dass das Ausmaß der Rückbildung neurologischer Symptome umso größer sei, je früher die Wiederherstellung der anatomischen Verhältnisse und damit die Dekompression von neuralen Strukturen erfolgt.

Blauth [18] jedoch konnte keine signifikante Korrelation zwischen dem Zeitraum vom Unfall bis zur Operation und der neurologischen Erholung finden, auch Bühren [35] zweifelt daran, ob generell die Frühoperation einen wesentlichen positiven Einfluss auf die Rückbildung neurologischer Ausfälle hat.

Die operative Versorgung mit Hilfe der ventralen Spondylodese führt zur sofortigen Dekompression der Nervenstrukturen, der Möglichkeit einer schnellen Mobilisation als auch Rehabilitation des Patienten [35, 67].

Die eigenen Nachuntersuchungen zeigten, dass sich 20 (29,9%) von insgesamt 67 untersuchten Patienten mit neurologischer Symptomatik um eine Kategorie, 4 Patienten (6%) um zwei Kategorien und 3 Patienten (4,5%) sogar um drei Kategorien der ASIA-Klassifikation verbessern konnten. Bei 6 Patienten (11,9%) trat eine Verschlechterung auf. Ein Großteil der Operierten wies keine oder nur noch geringe neurologische Defizite bei der Nachuntersuchung auf. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass nach dem operativen Eingriff eine gute Prognose der neurologischen Ausfälle in Abhängigkeit der initialen Symptomatik besteht. Je geringer die präoperativen Ausfälle sind, desto größer ist die Chance auf eine Besserung. Bei einem kompletten Querschnittssyndrom (ASIA A) ist die Chance auf eine Besserung jedoch gering, da bereits eine erhebliche Schädigung des Myelons angenommen werden muss, was sich auch in unserer Studie bestätigt.

Außerdem machen unsere Ergebnisse deutlich, dass durch eine ventrale Dekompression des Spinalkanals auch primär komplette Querschnittssyndrome eine zumindest teilweise Rückbildung erfahren können, was die Aussagen von Anderson [8] und Bohlmann [30] bestätigt.

Radiologische Ergebnisse

94 Patienten konnten radiologisch nachuntersucht werden, bei 98,9% war die Spondylodese knöchern durchbaut. In 1 Fall (1,1%) war die Spondylodese HWK 5 auf 6 nach bisegmentaler Versteifung HWK 4 auf 6 nicht vollständig knöchern durchbaut, es zeigte sich eine vermehrte Kyphosierung. 77,7% der eingebrachten Implantate waren im Vergleich zu den direkt postoperativ angefertigten Röntgenbildern unverändert, 21,3% waren wieder entfernt.

Morscher et al. [83], Ulrich und Nothwang [117] dokumentierten in ihren Arbeiten, dass in sämtlichen Fällen der vorderen Plattenosteosynthese keine Pseudarthrosen auftraten.

Die Auswertung der Röntgenbilder unserer Untersuchung zeigt, ähnlich wie bei anderen Studien [5,7,18,21,30,38,67,75,110,115], ein sehr gutes Einheilungsverhalten des transplantierten autogenen Knochenspanes. Aufgrund der hundertprozentigen Kompatibilität des Beckenkammes mit dem Immunsystem des Patienten kann es zu keiner Abstoßungsreaktion kommen. Bei entsprechender zusätzlicher Sicherung des Spanes durch ein Plattensystem bietet die ventrale Spondylodese nach unseren Ergebnissen in allen Fällen eine hervorragende Stabilität der Halswirbelsäule.

Jeanneret und Magerl [57,58] haben in ihren Arbeiten die dorsale Stabilisierung mit Hakenplatte vorgenommen. Auch hier kam es in allen Fällen zu einer knöchernen Konsolidierung. 1-mal kam es zu einer Dislokation eines Hakens.

Komplikationen

Von den 118 Patienten unserer Studie erlitten 13 (10,9%) eingriffsspezifische, 12 Patienten (10,2%) allgemeine postoperative Komplikationen, davon 8 Pneumonien. In 4 Fällen erfolgte eine Tracheotomie, 1 Patient verstarb an septischem Multiorganversagen. 6-mal (5,1%) musste eine operative Revision durchgeführt werden: Eine Liquorfistel wurde verschlossen, zweimal kam es zu

einer Nachblutung, welche aufgrund des ausgeprägten Hämatoms revidiert werden musste. Eine lose Spreizschraube einer ventralen Verriegelungsplatte musste entfernt werden. In 1 Fall kam es nach ventraler Spondylodese von HWK 4 auf 5 zu einer postoperativen Instabilität und Fehlstellung, sodass eine erneute Spondylodese von HWK 4 auf 6 notwendig wurde. 1 Patient klagte postoperativ nach dorsaler Spondylodese HWK 4 auf 5 über persistierende neurologische Beschwerden im linken Arm bei verbliebenem Bandscheibensequester. Eine erneute operative Revision mit Sequesterausräumung und ventraler Spondylodese erfolgte 1 Woche später. Auch in den anderen Studien [5,7,18,35,52,55,67,68,69,105,110,115] ist die eingriffsbezogene Komplikationsrate mit < 12% sehr gering, in den meisten Fällen sind die Komplikationen durch eine schlechte Operationstechnik bedingt. In der DGU-Studie wurde eine intraoperative Komplikationsrate von 9% gesehen [35,52], v.a. Verletzungen der Halsgefäße, an den Halsweichteilen, der Schilddrüse, am Ösophagus und Larynx. Bei der dorsalen Hakenplattenspondylodese nach Jeanneret, Grob und Magerl [48,58] kam es in beiden Studien nur je 1-mal zu einem Ausriss des Hakens bei fehlerhafter Technik.

5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden die retrospektiven Ergebnisse von 188 operativen Eingriffen bei 181 Patienten (57w:124m), die aufgrund einer traumatischen Instabilität der oberen (HWK 1 und 2) und der unteren HWS (HWK 2-3 bis HWK 7 / TH 1) behandelt wurden, erörtert und mit der Literatur verglichen.

In einem Zeitraum von fast 10 Jahren wurden 188 Eingriffe an 181 Patienten durchgeführt, d.h. 7 Patienten mussten zweimal operiert werden. Das Durchschnittsalter der Verletzten am Unfalltag betrug 44 Jahre, bei den Patienten mit Verletzungen der oberen HWS 52 Jahre, bei den Verunfallten mit Verletzungen der unteren Halswirbelsäule 39,8 Jahre.

In 76 Fällen (42%) trat eine isolierte Verletzung der Halswirbelsäule auf, 18 Patienten (9,9%) waren polytraumatisiert.

69-mal (36,7%) wurden Verletzungen der oberen, 119-mal (63,3%) der unteren Halswirbelsäule operativ versorgt. Bei zwei Patienten (1,1%) wurden Verletzungen sowohl der oberen als auch der unteren Halswirbelsäule stabilisiert.

144 Patienten (79,6%) konnten anhand eines standardisierten Fragebogens nachuntersucht werden, der Nachuntersuchungszeitraum lag im Schnitt bei 35 Monaten. 11 Patienten wurden nicht mehr erreicht und 26 Patienten waren bereits verstorben, davon 14 unfallbedingt. Häufigste Verletzungsart war in 106 Fällen (58,6%) Verkehrsunfälle, gefolgt von einfachen Stürzen, v.a. bei älteren Menschen. 3 Patienten verunglückten zweimal.

An der oberen HWS wurden bei 65 Patienten 69 operative Stabilisierungen durchgeführt, davon 3 kombiniert einzeitig dorsoventrale Eingriffe.

An der unteren HWS wurden bei 118 Patienten 119 Eingriffe durchgeführt.

Bei 2 Patienten wurde eine Stabilisierung sowohl an der oberen als auch an der unteren HWS nötig.

Bei 33 Eingriffen (17,6%) an der gesamten HWS kam es zu postoperativen Komplikationen, in 5 (2,7%) Fällen war die Fraktur nicht ausreichend durchbaut.

70 Patienten (38,6%) wiesen präoperativ bereits neurologische Symptome nach ASIA A bis D auf. Es konnten 158 postoperative neurologische Befunde erhoben werden, bei 28 Patienten kam es zu einer Besserung durch die OP, bei 8 Patienten zu einer Verschlechterung.

64 bzw. 53% (obere bzw. untere HWS) der Patienten sind nach eigenen Aussagen mit dem Operationsergebnis sehr zufrieden, 32 bzw. 43% sind wieder im alten Beruf tätig.

Von zahlreichen Autoren wird daher bei instabilen Halswirbelsäulenverletzungen und / oder zunehmenden neurologischen Ausfällen die Indikation zur operativen Behandlung gesehen.

Die Spondylodese mit autologem Knochenspan und H-Platte über ein bis zwei Segmente in der Technik nach Smith-Robinson [108] bietet an der unteren HWS nach unseren Erfahrungen auch bei zerrissenen dorsalen Bandstrukturen von Anfang an genügend Stabilität, um eine Ausheilung in achsengerechter Stellung zu gewährleisten [55]. Der zuggurtende Effekt der dorsalen Halsmuskulatur spielt dabei eine zusätzlich stabilisierende Rolle. Entsprechend war in unserem Krankengut nur bei 1 von 118 Patienten (0,85%) eine mangelnde knöcherne Durchbauung zu beobachten.

Dorsale Spondylodesen kamen nur bei verhakten Luxationen, chronischen Instabilitäten der oberen Halswirbelsäule und Denspseudarthrosen zur Anwendung.

Die Nachuntersuchungsbefunde ergaben zufriedenstellende Ergebnisse in Hinblick auf die Evaluation der ventralen interkorporellen Spondylodese nach traumatischen Läsionen der unteren Halswirbelsäule. Es zeigt sich, dass die ventrale Spondylodese ein sicheres und relativ komplikationsarmes Verfahren zur Behandlung der traumatischen Läsion der Halswirbelsäule darstellt. Die ventrale Spondylodese gewährleistet aufgrund der guten Durchbauung des eingebrachten Knochenspanes und der zusätzlichen Sicherung durch eine Platte eine sehr gute Stabilität.

Ein weiterer wichtiger Aspekt dieser guten Ergebnisse ist die deutliche postoperative Befundverbesserung der neurologischen Ausfälle.

Abschließend ist festzustellen, dass bei Verletzungen der Halswirbelsäule klare Operationsindikationen bestehen, wobei in jedem Fall die sofortige Reposition absolute Priorität hat. Die Risiken eines operativen Eingriffes an der

Halswirbelsäule sind bei sorgfältiger und standardisierter Operationstechnik relativ gering. Die Operation ermöglicht eine sichere Stabilisierung des verletzten Segmentes, die Besserung neurologischer Ausfälle, die frühfunktionelle Behandlung mit besseren funktionellen Ergebnissen und verkürzt die Rehabilitationszeit.

Die vorliegende Arbeit bestätigt, dass die operative Stabilisierung von HWS-Verletzungen eine suffiziente Versorgung zur frühzeitigen Mobilisierung der Patienten mit größtenteils guten Ergebnissen darstellt. Es können dadurch neurologische Ausfälle verhindert oder bei frühzeitiger Durchführung deutlich verbessert werden.

6. Anhang

Motorik

Kennmuskeln

	R	L	
C2			
C3			
C4			
C5			Ellbogenbeuger
C6			Handgelenkstrecker
C7			Ellbogenstrecker
C8			Fingerbeuger (distale Phalanx des Mittelfingers)
T1			Fingerabspreizer
T2			
T3			
T4			
T5			
T6			
T7			
T8			
T9			
T10			
T11			
T12			
L1			
L2			Hüftbeuger
L3			Kniestrecker
L4			Fußheber
L5			Großzehstrecker
S1			Fußsenker
S2			
S3			
S4-5			

0 = komplette Lähmung
 1 = tastbare oder sichtbare Kontraktion
 2 = aktive Bewegung, Schwerkraft aufgehoben
 3 = aktive Bewegung, gegen Schwerkraft
 4 = aktive Bewegung, gegen geringen Widerstand
 5 = aktive Bewegung, gegen vollen Widerstand
 NT = nicht prüfbar

Willkürliche Analsphinkterkontraktion (Ja/Nein)

GESAMT + = **MOTORIK - SCORE**
 (MAXIMUM) (50) (50) (100)

Sensibilität

Sensible Kennzonen

	R	L	R	L	
C2					0 = fehlend 1 = eingeschränkt 2 = normal NT = nicht prüfbar
C3					
C4					
C5					
C6					
C7					
C8					
T1					
T2					
T3					
T4					
T5					
T6					
T7					
T8					
T9					
T10					
T11					
T12					
L1					
L2					
L3					
L4					
L5					
S1					
S2					
S3					
S4-5					

Perianale Empfindung (Ja/Nein)

GESAMT + = **NADELSTICH - SCORE** (max: 112)
 (MAXIMUM) (56) (56) (56) (56)

+ = **BERÜHRUNGS - SCORE** (max: 112)
 (MAXIMUM) (56) (56) (56) (56)

NEUROLOGISCHE HÖHEN		R	L	KOMPLETT ODER INKOMPLETT?		ZONE PARTIELLEN FUNKTIONSERHALTS		R	L
Das kaudalste Segment mit normaler Funktion	SENSIBILITÄT			Inkomplett = Vorliegen irgendwelcher sensibler oder motorischer Funktion in tiefstem sakralen Segment		Partiell innervierte Segmente	SENSIBILITÄT		
	MOTORIK						MOTORIK		

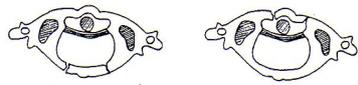
Dieses Schema kann jederzeit zur freien Verfügung kopiert werden, sollte jedoch nicht verändert werden ohne Erlaubnis der American Spinal Injury Association und der International Medical Society of Paraplegia. Version 4.0. (1993)

Dokumentationsschema für neurologische Störungen nach Verletzungen der Wirbelsäule gemäß ASIA.

104

A = Frakturen des Atlas

A1 Ein Atlasbogen gebrochen



A1.1

A1.2

A1.1 hinterer Atlasbogen gebrochen
 A1.2 vorderer Atlasbogen gebrochen
 [1] einfach
 [2] mit freiem Fragment

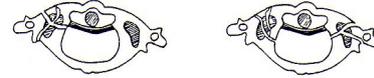
A2 Beide Atlasbogen gebrochen



A2.1

A2.1 hinterer + vorderer Bogen gebrochen. (Trennung der Gelenkmasse zur Seite ohne Ruptur des Lig. transversum (< 7 mm laterale Dislokation)
 [1] einfache Bruchlinie
 [2] mehrfragmentär

A3 Massae laterales gebrochen



A3.1

A3.2

A3.1 unilaterale Trümmerfraktur
 A3.2 bilaterale Trümmerfraktur
 [1] mit Bogenfraktur kombiniert

B = Frakturen der Axis

B1 Isthmusfrakturen



B1.1

B1.2

B1.3

B1.1 ohne oder mit wenig Dislokation (Listhesis von C2 < 3,5 mm nach vorne, Knickung C2/3 < 11°) (Effendi I)
 B1.2 mit mäßiger Dislokation (Knickung C2/3 > 11°, Listhesis > 3,5 mm, < 50% des Wirbelkörpers) (Effendi II)
 B1.3 mit massiver Dislokation in Flexion (> 50% des Wirbelkörpers) Gelenk C2/3 disloziert (Effendi III)

B2 Densfrakturen



B2.1

B2.2

B2.3

B2.1 Fraktur der Densspitze = Avulsion
 B2.2 Fraktur in Densbasis, bzw. Körper
 B2.3 Fraktur im Denshals
 [1] Dislokation nach vorne (< 11 mm)
 [2] Dislokation nach hinten (< 11 mm)
 [3] Dislokation nach der Seite oder Rotation (chapeau en gendarme)

B3 Komplexe Axisverletzungen



B3.1

B3.2

B3.3

B3.1 Isthmusfraktur + Densbasis- und -körperfraktur
 B3.2 Isthmusfraktur + Denshalsfraktur
 B3.3 Densfraktur mit Eintauchung + Trümmer im C2-Körper
 B3.1 + B3.2: [1] kombiniert mit B1.1
 [2] kombiniert mit B1.2
 [3] kombiniert mit B1.3

C = Kombinierte C1/C2-Verletzungen

C1 Vorwiegend ossäre Läsion



C1.1

C1.2

C1.3

C1.1 Atlasbogenfraktur hinten + Isthmusfraktur von C2
 C1.2 Atlasbogenfraktur hinten + Basis/Körperfraktur von Dens
 C1.3 Atlasbogenfraktur hinten + Denshalsfraktur
 Verletzung C1.1:
 [1] kombiniert mit B1.1
 [2] kombiniert mit B1.2
 [3] kombiniert mit B1.3

C2 Osteoligamentäre Läsion



C2.1

C2.2

C2.3

C2.1 Densbasisfraktur + C1/C2-Luxation (größer als Densbreite = 11 mm)
 C2.2 Denshalsfraktur + C1/C2-Luxation (größer als Densbreite = 11 mm)
 C2.3 Atlasfraktur mit Separation der Massae laterales > 7 mm nach lateral (Jefferson-Fraktur)

C3 Vorwiegend ligamentäre Läsion



C3.1

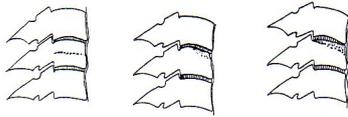
C3.2

C3.3

C3.1 schwere Verstauchung: C1/C2-Luxation nach vorne
 [1] zwischen 4-11 mm
 [2] > 11 mm
 C3.2 rotator. Subluxation (4 Typen nach Fielding)
 C3.3 hintere komplette Luxation C1/C2

A = Vorderer Anteil der Wirbelsäule betroffen

A1 Rein oder vorwiegend ossäre Läsion



A1.1 A1.2 A1.3

A1.1 gleichmäßige Kompression
 A1.2 Kantenabbruch ohne sichtbare ligamentäre Läsion
 [1] vorne [2] lateral
 A1.3 Keilfraktur ohne sichtbare ligamentäre Läsion (Knickung < 11°)
 [1] vorne [2] lateral

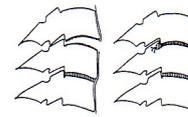
A2 Osteoligamentäre Läsion



A2.1 A2.2 A2.3

A2.1 Wirbelkörperfraktur, mehrfragmentär, eine Deckplatte betroffen (1 Bandscheibe verletzt)
 A2.2 Wirbelkörperfraktur, mehrfragmentär, 2 Deckplatten betroffen (2 Bandscheiben verletzt)
 A2.3 Trümmerfraktur, Hinterwand < 3 mm disloziert, hintere Elemente nicht sichtbar verletzt

A3 Rein oder vorwiegend ligamentäre Läsion

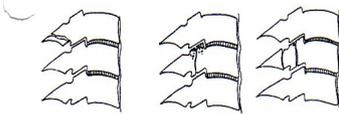


A3.1 A3.2

A3.1 Zerreißung des vorderen Längsbandes und der Bandscheibe (Entstehungsmechanismus: Hyperextension)
 A3.2 traumatische Diskushernie

B = Hinterer Anteil der Wirbelsäule betroffen

B1 Rein oder vorwiegend ossäre Läsion



B1.1 B1.2 B1.3

B1.1 isolierte Fraktur der hinteren Elemente
 [1] Dornfortsatz [2] Bogen [3] beides
 B1.2 Fraktur der kleinen Wirbelgelenke ohne Dislokation (Kompression oder Längsfraktur)
 [1] unilateral [2] bilateral
 B1.3 Kombinationsfraktur der kleinen Wirbelgelenke und Fraktur der hinteren Elemente ohne Dislokation
 [1] Dornfortsatz [2] Bogen [3] beides

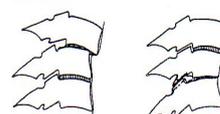
B2 Osteoligamentäre Läsion



B2.1 B2.2 B2.3

B2.1 Fraktur der hinteren Elemente mit Subluxation
 [1] Dornfortsatz [2] Bogen [3] beides
 B2.2 Fazettenfraktur (Abscherung) + Subluxation der Nachbarfazetten
 [1] unilateral [2] bilateral
 B2.3 Ausbruch der Massa articularis (Bruch durch Pedikel und Bogen)
 [1] unilateral [2] bilateral
 (≙ F. S. M. A. = fracture-séparation massif articulaire)

B3 Rein oder vorwiegend ligamentäre Läsion

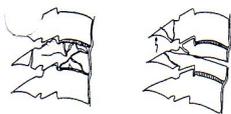


B3.1 B3.2

B3.1 Ruptur hinterer Ligamentkomplex mit Subluxation in Wirbelgelenken (bilateral)
 B3.2 Ruptur hinterer Ligamentkomplex mit asymmetrischer Subluxation in Wirbelgelenken (unilateral)

C = Vorderer und hinterer Anteil der Wirbelsäule betroffen

C1 Reine oder vorwiegend ossäre Läsion



C1.1 C1.2

C1.1 Berstungsfraktur des Wirbelkörpers in Kombination mit Berstungsfraktur der hinteren Elemente (Bogen, Dornfortsatz)
 C1.2 Horizontale Fraktur durch Wirbelkörper mit Berstung der hinteren Elemente (Bogen, Dornfortsatz)

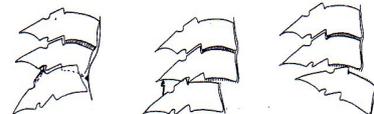
C2 Osteoligamentäre Läsion



C2.1 C2.2 C2.3

C2.1 vollständige Luxationsfraktur mit Frakt. in den hinteren Elementen. [1] Bogen + /od. Proc. spinosus [2] Fazettenfraktur [3] [1] + [2] kombiniert
 C2.2 Keilfraktur des Wirbels (> 11°) + Zerreißung des hinteren Ligamentkomplexes
 [1] osteoligamentär [2] rein ligamentär
 C2.3 Wirbelkörperfraktur (Spaltung im vorderen oberen Anteil + hinteres Fragment mit Dislokation > 3 mm in Spinalkanal) [= echte „tear drop fracture“]
 [1] osteoligamentär
 [2] rein ligamentär

C3 Reine oder vorwiegend ligamentäre Läsion



C3.1 C3.2 C3.3

C3.1 reine Luxation unilateral verhakt (Zerreißung Diskus und hinterer Ligamentkomplex)
 C3.2 reine Luxation bilateral verhakt (Diskus und hinterer Ligamentkomplex zerrissen)
 C3.3 Zerreißung des Diskus und Luxation nach dorsal mit Zerreißung des hinteren Ligamentkomplexes

Untersuchungsbogen

Patient

Name

Geburtsdatum . .

Geschlecht 1 männlich 2 weiblich

Datum der Nachuntersuchung

. .

Diagnose

1 Luxationsfraktur 2 Densfraktur 3 Kompressionsfraktur
4 Luxation/Subluxation 5 Instabilität 6 hanged man-fracture

HWK

bis

Ursache

1 Verkehrsunfall 2 Sturz 3 Fall aus der Höhe (> 2m)
4 Sprung in flaches Wasser 5 Sonstige

weitere

1 ja, siehe unten 2 Polytrauma (s.u.) 3 keine

Verletzungen

Schädelfraktur SHT Beckenfraktur

Thorax Organe Thorax knöchern Abdomen

Untere Extremität Obere Extremität BWS-/LWS-Fraktur

Unfall - Datum

. .

Aufnahme – Datum

. .

Verstorben

1 perioperativ 2 unfallbedingt 3 unfallunabhängig 4 nein

Todesdatum

. .

OP - Datum

. .

Eingriff

1 ventral 2 dorsal 3 einzeitig kombiniert 4 zweizeitig

Osteosynthese

Wirbel C

Segment C bis C

Spondylodese

Wirbelkörper C bis C

Implantat dorsal

1 Cerclage 2 Hakenplatte 3 Y-Platte
4 Spongiosaschrauben 5 anderes System 9 keines

Implantat ventral

1 Spongiosaschraube 2 kanülierte Schr. 3 Herbert
4 H-Platte 5 anderes System 9 keines

Knochen transplantation

1 Autogene Spongiosa 2 Autogener Block 3 Autogener
CS- Span 4 Allogene Spongiosa
5 Allogener Block 6 Autogen und allogene 9 keine

Entnahmestelle des autogenen Knochens	<input type="checkbox"/>	1 Beckenkamm hinten 2 vorne 9 keine
---	--------------------------	-------------------------------------

Postoperative Ruhigstellung	<input type="checkbox"/>	1 Camp-Krawatte 2 Gips 3 Halo-Fix. 4 3-Punkt-Korsett 5 Schanz-Kraw. 6 keine
Postoperative Komplikationen	<input type="checkbox"/>	1 ja 2 nein bei 1:
Mobilisation nach	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Tagen

Krankenhausaufenthaltsdauer	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Tage
Pause zwischen Entlassung und Rehabeginn	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Tage
Rehadauer	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Tage
Physiotherapie ambulant	<input type="checkbox"/>	1 nein 2 ja <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Wochen

Dauer der Arbeitsunfähigkeit	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Wochen
MdE	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	%
Beruf	<input type="checkbox"/>	1 wieder im alten Beruf 2 Umschulung 3 arbeitsunfähig 4 berentet 5 arbeitslos

Objektive Kriterien

Radiologisch

Bruchheilung 1 durchbaut 2 nicht durchbaut

Implantate 1 unverändert 2 entfernt 3 Schraubenlockerung
4 Plattenlockerung 5 Schraubenbruch 6 Bruch Draht

Neurologisch (ASIA-Klassifikation)

Prä - OP

1=A 2=B 3=C 4=D 5=E

motorisch: Eigenreflexminderung von Wurzel C bis 1re 2li 3beidseits

sensorisch: Sensibilitätsänderung Dermatome C bis 1re 2li 3beidseits

grobe Kraft vermindert von Wurzel C bis 1re 2li 3beidseits

Kraftgrad bei Kraftminderung

post - OP

1=A 2=B 3=C 4=D 5=E

motorisch: Eigenreflexminderung von Wurzel C bis 1 re 2 li 3 beidseits

sensorisch: Sensibilitätsänderung Dermatome C bis 1 re 2 li 3 beidseits

grobe Kraft vermindert von Wurzel C bis 1 re 2 li 3 beidseits

Kraftgrad bei Kraftminderung

Klinisch

Prä - OP Beweglichkeit (aktiv) eingeschränkt 1 ja 2 nein

Post - OP Beweglichkeit (aktiv)

Inklination / Reklination -0- Grad

Rotation rechts / links -0- Grad

Seitneigung rechts / links -0- Grad

Subjektive Kriterien

Persönliche Zufriedenheit

1 sehr gut 2 gut 3 befriedigend 4 ausreichend 5 schlecht

Schmerzen

1 keine 2 bei starker Belastung 3 bei geringer Belastung 4 in Ruhe

Verspannungen

1 nie 2 gelegentlich 3 häufig 4 ständig

Subjektive Beweglichkeit

1 nicht eingeschränkt 2 gering eingeschränkt 3 stark eingeschränkt

Schmerzmittel

1 nie 2 gelegentlich 3 häufig 4 ständig

Sonstiges

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arterie
a. p.	anterior posterior
Abb.	Abbildung
AO	Arbeitsgemeinschaft Osteosynthese
ASIA	American Spinal Injury Association
BW	Brustwirbel
bzw.	beziehungsweise
C	zervikales spinales Segment
ca.	circa
CT	Computertomographie
d. h.	das heißt
Diag.	Diagramm
et al.	et alii
etc.	et cetera
evtl.	eventuell
Geb.-Dat.	Geburtsdatum
ggf.	gegebenenfalls
HW	Halswirbel
HWS	Halswirbelsäule
li.	links
Lig.	Ligamentum
LWS	Lendenwirbelsäule
M.	Musculus
MRT	Magnetresonanztomographie
n	Stichprobe
N.	Nervus
OP	Operation
Proc.	Processus
re.	rechts
S.	Seite
SHT	Schädel-Hirn-Trauma
Tab.	Tabelle
Th	thorakales spinales Segment
u.a.	unter anderem

V.	Vena
v.a.	vor allem
wg.	wegen
z. B.	zum Beispiel

7. Literaturverzeichnis

1. **Abel R**, Gerner HJ: Wirbelsäulenverletzungen mit Querschnittlähmung – aktueller Stand der Behandlung. *OP-Journal* **17**: 172 – 176 (2001)
2. **Aebi M**, Etter CH, Coscia M: Fractures of the odontoid process. Treatment with anterior screw fixation. *Spine* **14**: 1065 - 1070 (1989)
3. **Aebi M**, Etter CH: Die ventrale direkte Verschraubung bei Densfrakturen. *Orthopäde* **20**: 147 - 153 (1991)
4. **Aebi M**, Mohler J, Morscher E: Operative stabilisation of dislocations, fractures and fracture-dislocations of the cervical spine. *Ann Acad Med Singapore* **11**: 194 - 202 (1982)
5. **Aebi M**, Mohler J, Zäch GA, Morscher E: Indication, surgical technique and results of 100 surgically treated fractures and fracture dislocation of the cervical spine. *Clin. Orthop.* **203**: 244 - 257 (1986)
6. **Aebi M**, Nazarian S: Klassifikation der Halswirbelsäulenverletzungen. *Orthopäde* **16**: 27 - 36 (1987)
7. **Aebi M**, Zuber K, Marchesi D: Treatment of cervical spine injuries with anterior plating. Indications, techniques and results. *Spine* **16**: 38 - 45 (1991)
8. **Anderson LD**, D'Alonzo RT: Fractures of the odontoid process of the axis. *J Bone Joint Surg. [Am]* **56**: 1663 - 1674 (1974)
9. **Arand M**, Kinzl L: Verletzungen der Wirbelsäule. In: Mutschler W, Haas N (Hrsg) *Praxis der Unfallchirurgie*. Thieme, Stuttgart New York, S. 580 – 644 (1999)
10. **Arand M**, Lemke M, Kinzl L, Hartwig E: Inzidenz von Komplikationen der Schraubenosteosynthese von Frakturen des Dens axis. *Zentralbl Chir* **126**: 610 – 615 (2001)
11. **Arand M**, Mutschler W, Ulrich C: Funktionseinschränkung nach ventralen und dorsalen Spondylodesen der traumatisierten unteren Halswirbelsäule. In: Kalff R. (Hrsg) *Erkrankungen und Verletzungen der Wirbelsäule*. Hans Huber, Bern Göttingen Toronto Seattle: 52 - 55 (1994)
12. **Arand M**, Strecker W, Hartwig E, Kinzl L: Indikation und Versorgungskonzept von Wirbelsäulenverletzungen beim polytraumatisierten Patienten. *OP-Journal* **13**: 151 - 155 (1997)
13. **Arnold W**: Erste klinische Erfahrungen mit der HWS - Verriegelungsplatte aus reinem Titan. *Unfallchirurg* **93**: 559 - 561 (1990)
14. **ASIA Classification**: Standards of neurological and functional classification of spinal cord injury. American Spinal Injury Association Chicago, Illinois (1992)
15. **Bailey RW**, Badgley CE: Stabilization of the cervical spine by anterior fusion. *J Bone Joint Surg Am* **42**: 565 - 594 (1960)
16. **Bell GD**, Bailey SI: Anterior cervical fusion for trauma. *Clin Orthop* **155** - 158 (1977)
17. **Blauth M**, Richter M, Kiesewetter B, Lange U: Operative oder konservative Behandlung der Pseudarthrose des Dens axis. *Chirurg* **70**: 1225 – 1238 (1999)
18. **Blauth M**, Schmidt U, Dienst M, Knop C, Lobenhoffer P, Tscherne H: Langzeitergebnisse von 57 Patienten nach ventraler interkorporeller Spondylodese der unteren Halswirbelsäule. *Unfallchirurg* **99**: 925 - 939 (1996)
19. **Blauth M**, Tscherne H: Kommentar zur Arbeit von T.M.Stoll und E.W.Morscher: Die zervikale interkorporelle Spondylodese mit der Titan-Verriegelungsplatte. *Operat Orthop Traumatol* **7**: 88 - 90(1995)

20. **Blauth M**: Obere und untere HWS. In: Tscherne H, Blauth M: Unfallchirurgie Wirbelsäule, Springer, Berlin, Heidelberg: 1 – 397 (1998)
21. **Böhler J, Gaudernak T**: Anterior plate stabilization for fracture-dislocations of the lower cervical spine. *J. Trauma* 20: 203 - 205 (1980)
22. **Böhler J, Poigenfürst J, Gaudernak T, Hintringer W**: Die Schraubenosteosynthese des Dens axis. *Operat Orthop Traumatol* 2: 75 – 83 (1990)
23. **Böhler J**: Anterior stabilization for acute fractures and nonunions of the dens. *J Bone Joint Surg. [Am]* 64: 18 (1982)
24. **Böhler J**: Frakturen und Pseudarthrosen des Dens axis. In: Burri C, Rüter A (Hrsg) Verletzungen der Wirbelsäule. Hefte Unfallheilkunde 149: 97 - 114 (1980)
25. **Böhler J**: Operative Behandlung instabiler Frakturen und Luxationsfrakturen der Halswirbelsäule. *Unfallchirurgie* 3: 25 - 31 (1977)
26. **Böhler J**: Operative Behandlung von Halswirbelsäulenverletzungen. Hefte Unfallheilk. 108: 132 - 136 (1971)
27. **Böhler J**: Operative Therapie der Verletzung der Halswirbelsäule. Hefte Unfallheilkunde 163: 121 - 128 (1984)
28. **Böhler J**: Schraubenosteosynthese von Frakturen des Dens axis. *Unfallheilkunde* 84: 221 - 223 (1981)
29. **Böhmer G, Böhm HJ**: Akutdiagnostik bei Wirbelsäulenverletzungen. *OP-Journal* 17: 128 – 130 (2001)
30. **Bohlmann HH**: Acute fractures and dislocations of the cervical spine. An analysis of three hundred hospitalized patients and review of the literature. *J Bone Joint Surg [Am]* 61: 1119 - 1142 (1979)
31. **Breasted JH** *The Edwin Smith Surgical Papyrus*. Chicago, pp 316 – 342, 425 – 428 (1930)
32. **Brooks AL, Jenkins EB**: Atlanto-axial arthrodeses by the wedge compression method. *J Bone Joint Surg. [Am]* 60: 279 - 284 (1978)
33. **Bühren V, Hofmeister M, Potulski M**: Behandlungsstrategien bei Verletzungen der oberen und unteren Halswirbelsäule-Prospektive Sammelstudie der Arbeitsgemeinschaft Wirbelsäulenchirurgie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie. *Unfallheilkunde* 268: 210 - 218 (1997)
34. **Bühren V, Potulski M, Jaksche H**: Chirurgische Versorgung bei Tetraplegie. *Unfallchirurg* 102: 2 - 12 (1999)
35. **Bühren V**: Frakturen und Instabilitäten der Halswirbelsäule. *Unfallchirurg* 73: 1049 – 1066 (2002)
36. **Cloward RB**: The anterior approach for removal of the ruptured cervical discs. *J Neurosurg* 15: 602 - 617 (1958)
37. **Cloward RB**: Treatment of acute fractures and fracture dislocations of the cervical spine by vertebral body fusion. A report of 11 cases. *J Neuro- surgery* 18: 205 - 209 (1961)
38. **Daentzer D, Böker DK**: Operative Stabilisierung traumatischer Instabilitäten der unteren Halswirbelsäule. *Unfallchirurg* 107: 175 – 180 (2004)
39. **Dick W**: Innere Fixation von Brust- und Lendenwirbelfrakturen. Huber, Bern (1987)
40. **Effendi B, Roy D, Cornish B, Dussault RG, Laurin CA**: Fractures of the ring of the axis. A classification based on the analysis of 131 cases. *J Bone Joint Surg. [Br]* 63: 319 - 327 (1981)
41. **Francis WR, Fielding JW, Hawkins RJ, Pepin J, Hensinger R.**: Traumatic spondylolisthesis of the axis. *J Bone Joint Surg [Br]* 63: 313 - 318 (1981)

42. **Gallie** WE: Fractures and dislocations of the cervical spine. *Am J Surg* 46: 495 - 499 (1939)
43. **Gehweiler** JA, Duff DE, Martinez S, Miller MD, Clark WM: Fractures of the atlas vertebra. *Skelet Radiol* 1: 97 - 102 (1976)
44. **Gelehrter** G: Behandlung der Halswirbelsäulenverletzungen. *Orthopäde* 9: 16 - 23 (1980)
45. **Gleizes** V, Jacquot FP, Signoret F, Féron JM : Combined injuries in the upper cervical spine : clinical and epidemiological data over a 14-year period. *Eur Spine J* 9: 386 - 392 (2000)
46. **Grob** D, Jeanneret B, Aebi M, Markwalder KM: Atlantoaxial fusion with transarticular screw fixation. *J Bone Joint Surg. [Br]* 73 : 972 - 976 (1991)
47. **Grob** D, Magerl F: Operative Stabilisierung bei Frakturen von C1 und C2. *Orthopäde* 16: 46 - 54 (1987)
48. **Grob** D, Magerl F: Dorsale Spondylodese der Halswirbelsäule mit der Hakenplatte. *Orthopäde* 16: 55 - 61 (1987)
49. **Grob** D, Panjabi M, Dvorak J, Humke T, Lydon C, Vasavada A, Crisco III J: Die instabile Wirbelsäule - eine „In-vitro-“ und „In-vivo-Studie“ zum besseren Verständnis der klinischen Instabilität. *Orthopäde* 23: 291 - 298 (1994)
50. **Henry** AD, Bohly J, Grosse A: Fixation of odontoid fractures by an anterior screw. *JBJS Br* 81 (3): 472 - 477 (1999)
51. **Hilden** Fv: *Observations Chirurgiques*. Genève, pp 329 - 334 (1669)
52. **Hofmeister** M, Bühren V: Therapiekonzept für Verletzungen der unteren HWS. *Orthopäde* 28: 401 - 413 (1999)
53. **Hohmann** D, Liebig K: Technik der ventralen Spondylodese an der unteren Halswirbelsäule. *Orthopäde* 16: 62 - 69 (1987)
54. **Höntzsch** D, Badke A, Kaps HP: Frakturen und Luxationen der oberen Halswirbelsäule. *OP-Journal* 17: 132 - 139 (2001)
55. **Illgner** A, Haas N, Blauth M, Tscherne H: Die operative Behandlung von Verletzungen der Halswirbelsäule. *Unfallchirurg* 92: 363 - 372 (1989)
56. **Illgner** A, Reilmann H: Verletzungen der Halswirbelsäule - Diagnostik und chirurgische Behandlung. *Unfallchirurg* 99: 351 - 367 (1996)
57. **Jeanneret** B, Magerl F, Ward EH, Ward JC: Posterior stabilization of the cervical spine with hook-plates. *Spine* 16: 56 - 63 (1991)
58. **Jeanneret** B, Magerl F: Die Hakenplattenspondylodese an der Halswirbelsäule. *Operat Orthop Traumatol* 6: 71 - 83 (1994)
59. **Jeanneret** B, Magerl F: Primary posterior fusion C1/2 in odontoid fractures: indications, technique and results of transarticular screw fixation. *J Spin Disord* 5: 464 - 475 (1992)
60. **Jefferson** G: Fracture of the atlas vertebra. Report of four cases and review of those previously recorded. *Br J Surg*: 407 - 420 (1920)
61. **Josten** C: Halswirbelsäule. In: Tscherne H, Nerlich HM (Hrsg) *Hefte zur Unfallheilkunde* 197. Springer, Berlin Heidelberg, S 107 - 117 (1988)
62. **Josten** C: Die traumatische Spondylolisthese des Axis. *Orthopäde* 28: 394 - 400 (1999)
63. **Junghans** H: Wirbelsäule. In: Bürkle de la Camp H, Rostock P (Hrsg): *Handbuch der gesamten Unfallchirurgie*. Bd II. Enke, Stuttgart, S 520 - 564 (1955)
64. **Katscher** S, Verheyden AP: Standards bei der Behandlung von Frakturen und Instabilitäten der HWS zwischen C3 und C7. *Trauma Berufskrankh* 5: 225 - 230 (2003)

65. **Kluger P**, Gerner HJ: Das mechanische Prinzip des Fixateur externe zur dorsalen Stabilisierung der Brust- und Lendenwirbelsäule. Unfallchirurgie 12: 68-79 (1986)
66. **Knöringer P**: Operative Versorgung von Verletzungen der oberen Halswirbelsäule und des kraniozervikalen Übergangs. In: Richter-Turtur M, Schweiberer L, Wiedemann E (Hrsg.) Hefte zur Unfallheilkunde 225. Springer, Berlin Heidelberg: 41 – 56 (1992)
67. **Kocks W**, Pospiech J, Stürmer KM, Joka Th: Ergebnisse bei operativer Therapie von Halswirbelsäulenverletzungen. In: Kalff R. (Hrsg) Erkrankungen und Verletzungen der Wirbelsäule. Hans Huber, Bern Göttingen Toronto Seattle: 45 - 51 (1994)
68. **Koivikko MP**, Myllynen P, Karjalainen M, Vornanen M, Santavirta S: Conservative and operative treatment in cervical burst fractures. Arch Orthop Trauma Surg 120: 448 – 451 (2000)
69. **Koivikko MP**, Myllynen P, Santavirta S: Fracture dislocations of the cervical spine: a review of 106 conservatively and operatively treated patients. Eur Spine J 13: 610 – 616 (2004)
70. **Koivikko MP**, Kiuru MJ, Koskinen SK, Myllynen P, Santavirta S, Kivisaari L: Factors associated with nonunion in conservatively-treated type-II fractures of the odontoid process. J Bone Joint Surg Br. 8: 1146 – 1151 (2004)
71. **Koller H**, Daniaux H, Gruber H, Blauth M, Kathrein A: Die instabile traumatische Spondylolisthese C2/3 – Ergebnisse und Empfehlungen nach operativer Stabilisierung in 34 Fällen und Literaturübersicht. Aktuelle Traumatologie 35: 183 – 202 (2005)
72. **Kortmann HR**, Wolter D, Meinecke FW, Eggers C: Die Rückbildungstendenz neurologischer Schäden bei der operativen Sofortversorgung von Halswirbelsäulenverletzten mit Rückenmarksbeteiligung. Chirurg 57: 695 (1986)
73. **Kortmann HR**, Eggers C, Schofer M, Hax PM: Diagnostik und Therapie der Verletzungen der oberen Halswirbelsäule. Trauma Berufskrankh 2: 134 – 147 (2000)
74. **Lauer H**, Sander A, Maier B, Marzi I: Frakturen der Halswirbelsäule. Der Orthopäde 39: 237 – 246 (2010)
75. **Lifeso RM**, Colucci MA: Anterior Fusion for Rotationally Unstable Cervical Spine Fractures. Spine 25 (16): 2028 – 2034 (2000)
76. **Louis R**: Les théories de l'instabilité. Rev Chir Orthop 63 : 423 (1977)
77. **Louis R**: Der ventrale Zugang zur Halswirbelsäule. Orthopäde 16: 37 – 45 (1987)
78. **Magerl F**, Grob D, Seeman P: Stable dorsal fusion of the cervical spine (C2 – Th1) using hook plates. Cervical Spine I. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 217 – 221 (1987)
79. **Magerl F**, Seeman PS: Stable posterior fusion of the atlas and axis by transarticular screw fixation. In: Kehr P, Weidner A (Hrsg) Cervical Spine I, Springer, Wien New York, S. 322 - 327 (1987)
80. **Mähring M**: Segmentveränderungen der Halswirbelsäule nach cervikalen Spondylodesen instabiler Verletzungen. Unfallchirurgie 14: 247 - 258 (1989)
81. **Mestdagh H**: Resultate der ventralen Spondylodese der Halswirbelsäule (C2 - C7). Orthopäde 16: 70 - 80 (1987)
82. **Michel O.**, Zäch G.A.: Erstversorgung von Wirbelsäulenverletzungen mit Querschnittslähmung in der Präklinik. Osteosynthese International 3:198-205 (1996)

83. **Morscher** E, Sutter H, Jenny H, Olerud S: Die vordere Verplattung der Halswirbelsäule mit dem Hohlschrauben-Plattensystem aus Titanium. *Chirurg* 57: 702 – 707 (1986)
84. **Müller** EJ, Wick M, Russe OJ, Palta M, Muhr G: Die direkte Verschraubung von Frakturen des Dens axis. *Unfallchirurg* 103: 38 - 43 (2000)
85. **Müller** EJ, Wick M, Russe O, Muhr G: Unfallbedingte Pseudarthrosen des Dens axis – Ätiologie, Verlauf und Therapie. *Unfallchirurg* 101: 750 – 754 (1998)
86. **Netter** Frank H: Farbatlanten der Medizin – Bd. 7. Bewegungsapparat I. : Thieme: Stuttgart New York, S. 9 - 13 (1992)
87. **Neugebauer** R: Gewebeschonende ventrale Kompressionsosteosynthese von Dens-Frakturen mit endoskopischer Hilfe und speziellem Instrumentarium. *Unfallchirurg* 94: 313 - 316 (1991)
88. **Nicoll** EA: Fractures of the dorso-lumbar spine. *J Bone Joint Surg [Br]* 31: 376–394 (1949)
89. **Nothwang** J, Ulrich C: Operative Versorgung von HWS-Verletzungen – Komplikationsmöglichkeiten. *Trauma Berufskrankh* 7 (Suppl 2): 263 – 270 (2005)
90. **Oberst** M, Wittner B, Holz U: Frakturen und Luxationen der unteren HWS. *OP-Journal* 17: 142 – 149 (2001)
91. **Orozco** R, Llovet Tapies L: Osteosynthesis en les fractures de raquis cervical. *Rev Ortop Traumatol* 14: 285 (1970)
92. **Osti** OL, Fraser RD, Griffiths ER: Reduction and stabilization of cervical dislocations. *J Bone Joint Surg [Br]* 71: 275 - 282 (1989)
93. **Pang** D, Pollack IF: Spinal cord injury without radiographic abnormality in children - the SCIWORA syndrome. *J Trauma* 29: 654 - 664 (1989)
94. **Reinhold** M, Blauth M, Rosiek R, Knop C: Verletzungen der unteren Halswirbelsäule – Klassifikation und Behandlungskonzept. *Unfallchirurg* 109: 471 – 482 (2006)
95. **Robinson** RA, Walker AE, Ferlic DC, Wiecking DK: The results of anterior interbody fusion of the cervical spine. *J Bone Joint Surg [Am]* 44: 1569 (1962)
96. **Robinson** RA: Fusions of the cervical spine. *J Bone Joint Surg. [Am]* 41:1 (1959)
97. **Roy - Camille** R, Saillant G: Chirurgie du rachis cervical. *Nouv Presse Med* 1: 2330 (1972)
98. **Roy-Camille** R, Saillant G: Fractures complexes du rachis cervical interieure. *Tetraplegies Nouv Presse Med* 40 : 2707 – 2710 (1972)
99. **Rüter** A, Trentz O, Wagner M: *Unfallchirurgie*, 2. Auflage, Urban & Fischer, München Jena, S. 663 - 686 (2004)
100. **Schären** S, Jeanneret B: Atlasfrakturen. *Orthopäde* 28: 385 - 393 (1999)
101. **Schiebler** TH, Schmidt W: *Lehrbuch der gesamten Anatomie des Menschen*. 4. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York, S. 214 - 228 (1987)
102. **Schleicher** P, Scholz M, Schnake K, Kandziora F: Standarddiagnostik und Management von subaxialen HWS-Verletzungen. *Trauma Berufskrankh* 10 [Suppl 2]: 175 – 181 (2008)
103. **Schweighofer** F, Grechenig W, Passler JM, Ranner G, Wildburger R: Radiologische Diagnostik der Halswirbelsäulenverletzungen. *Unfallchirurg* 95: 288 - 291 (1992)
104. **Schweighofer** F, Ranner G, Passler JM, Wildburger R, Hofer HP: Stellenwert der Magnetresonanztomographie (MRT) in der Diagnostik und

- Verlaufskontrolle von Halswirbelsäulenverletzungen. Unfallchirurg 95: 599 - 602 (1992)
105. **Schweighofer** F, Passler JM, Wildburger R, Hofer HP: Interbody fusion of the lower cervical spine: a dangerous surgical method? Langenbecks Arch Chir. 377: 295 – 299 (1992)
 106. **Senegas** J: Fractures et luxations récents du rachis cervical sans troubles neurologiques. Rev Chir Orthop 58: 353 (1972)
 107. **Senegas** J, Gauzere JM: Plaidoyer pour la chirurgie antérieure dans le traitement des traumatismes graves des cinq dernières vertèbres cervicales. Rev Chir Orthop 62 (Suppl 2): 123 – 128 (1976)
 108. **Smith** GW, Robinson RA: The treatment of certain cervical spine disorders by anterior removal of the intervertebral disc and interbody fusion. J Bone Joint Surg [Am] 40: 607 - 624 (1958)
 109. **Stoll** TM, Morscher E: Anterior interbody fusion using the cervical spine locking plate. Orthop Traumatol 7: 71 - 83 (1995)
 110. **Stoll** TM, Morscher E: Die zervikale interkorporelle Spondylodese mit der Titan-Verriegelungsplatte. Operat Orthop Traumatol 7: 75 - 87 (1995)
 111. **Stürmer** K.M.: Verletzung der Halswirbelsäule. In: Leitlinien Unfallchirurgie. 2. Auflage, Thieme, Stuttgart New York, S. 34 – 54 (1999)
 112. **Traynelis** VC, Marano GD, Dunker RO, Kaufmann HH: Traumatic atlanto-occipital dislocation. Case report. J Neurosurg 65: 863 – 870 (1986)
 113. **Tscherne** H, Hiebler G, Muhr G: Zur operativen Behandlung von Frakturen und Luxationen der Halswirbelsäule. Hefte Unfallheilkunde 108: 142 - 144 (1971)
 114. **Tscherne** H, Muhr G, op den Winkel R: Frakturen und Luxationen der HWS - Operative Behandlung und Ergebnisse. In: Burri C, Rüter A (Hrsg) Verletzungen der Wirbelsäule. Hefte Unfallheilkunde 149: 89 – 94 (1980)
 115. **Tscherne** H, Illgner A: Die ventrale interkorporelle Spondylodese der Halswirbelsäule. Operat Orthop Traumatol 3: 147 - 157 (1991)
 116. **Ulrich** C, Kalff R, Claes L, Wilke HJ: Biomechanik ventraler und dorsaler Halswirbelsäulenfixationssysteme. In: Kalff R. (Hrsg) Erkrankungen und Verletzungen der Wirbelsäule. Hans Huber, Bern Göttingen Toronto Seattle: 52 - 55 (1994)
 117. **Ulrich** C, Nothwang J: Biomechanik und Klinik der Spondylodese an der unteren HWS - Technik und Implantate. Orthopäde 28: 637 - 650 (1999)
 118. **Ulrich** C, Bühren V: Verletzungen der Halswirbelsäule. Orthopädie und Unfallchirurgie up2date 1: 415 – 446 (2006)
 119. **Vock** B, Matschke S, Grützner PA, Wentzensen A: Winkelsteife Implantate an der HWS. OP-Journal 20: 38 – 44 (2004)
 120. **Volkman** R, Badke A, Winter E, Höntzsch D: Traumatische Schädigung der unteren HWS - ein diagnostisches Problem? Unfallchirurg 99: 466 - 469 (1996)
 121. **Wackenheim** A, Dosch JC, Zöllner G: Röntgendiagnostik der traumatischen Instabilität der mittleren und unteren Halswirbelsäule (C3 – C7). Orthopäde 16 20 – 26 (1987)
 122. **Weidner** A: Operative Behandlungsmöglichkeiten des Halswirbeltraumas. Dt Ärztebl 95: A-1785 - 1790 (1998)
 123. **Weißkopf** M, Bail H, Mack M, Stöckle U, Hoffmann R: Wertigkeit der MRT bei traumatischer ligamentärer Instabilität der unteren HWS. Unfallchirurg 102: 942 - 948 (1999)

124. **White** AA, Panjabi MM: Clinical biomechanics of the spine. 2nd edn. Lippincott, Philadelphia (1990)
125. **Whitesides** TE: Traumatic kyphosis of the thoracolumbar spine. Clin Orthop 128: 78 – 92 (1977)
126. **Wolter** D: Vorschlag für eine Einteilung von Wirbelsäulenverletzungen. Unfallchirurg 88: 481 - 484 (1985)
127. **Zeilinger** FS, Meier U, Klötzer R: Frakturen der unteren Halswirbelsäule - Operationsmethoden und Langzeitergebnisse. Unfallchirurgie 24: 3 - 9 (1998)

8. Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Professor Dr. med. R. Neugebauer, ehemaliger Chefarzt der Abteilung für Orthopädie und Unfallchirurgie, Sportmedizin am Krankenhaus Barmherzige Brüder Regensburg, für die Überlassung des Themas und dass ich an seiner Klinik die notwendigen Untersuchungen durchführen durfte.

Bedanken möchte ich mich auch bei seinen Mitarbeitern und den Mitarbeitern der Radiologie für ihre tatkräftige Unterstützung.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. B. Füchtmeier für die motivierende Unterstützung beim Verfassen dieser Arbeit, seine Ratschläge und die stets freundliche Betreuung.

Schließlich danke ich den Patienten, denn ohne ihre Kooperation zur Nachuntersuchung hätte diese Arbeit nie entstehen können.

Ein besonderer Dank gilt auch meinen lieben Mitmenschen, Kollegen und v.a. meiner Familie, die mich immer wieder ermuntert haben, die Arbeit voranzutreiben und fertigzustellen.

9. Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Insbesondere habe ich nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen.

Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeit erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Sulzbach-Rosenberg, den 12.03.2012

Markus Eckert