

**Aus der Klinik für Unfall- und
Wiederherstellungschirurgie der
Martin-Luther-Universität Halle- Wittenberg**

Direktor: Prof. Dr. med. habil. W. Otto



**DIE VENTRALE SPONDYLODESE IM
OPERATIVEN BEHANDLUNGSKONZEPT
VON HALSWIRBELSÄULENVERLETZUNGEN**

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Medizin (Dr. med.)

vorgelegt

der Medizinischen Fakultät der Martin-Luther-
Universität Halle- Wittenberg

von Shimelis Zewdie Zegeye

geboren am 05.02.1969 in BERODA (ÄTHIOPIEN)

Gutachter: 1. Prof. Dr. med. W. Otto
2. Prof. Dr. med. E. Markgraf
3. PD Dr. H. Reichel

Tag der mündlichen Prüfung: 24.10.00

REFERAT

Die ventrale interkorporelle Spondylodese der Halswirbelsäule kann bei der Behandlung von Halswirbelsäulenverletzungen als Standardverfahren ohne zusätzliche dorsale Stabilisierung angesehen werden. Die Analyse von 25 Patienten nach der Durchführung einer ventralen Spondylodese im Zeitraum von Juli 1991 bis Januar 1996 stellte den Versuch dar, aufzuzeigen, daß die Stabilität und knöchernen Konsolidierung der Halswirbelsäule bei alleinigem ventralen Vorgehen zu erreichen waren. Der untere HWS-Abschnitt C3 bis TH1 war in 21 Fällen (84%) betroffen. Bei 4 Patienten (16%) war eine Densfraktur festzustellen. Dabei sind Verkehrsunfälle und Stürzunfälle die Hauptursachen für die Verletzungen der Halswirbelsäule gewesen. Die Verletzungen der Halswirbelsäule wurden prinzipiell bei Patienten aller Altersklassen beobachtet. Von den Patienten waren 5 Frauen (20%) und 20 Männer (80%), das mittlere Alter betrug zum Zeitpunkt der Operationen 33,2 Jahre. Der jüngste Patient war 13 Jahre, der älteste 82 Jahre alt.

Bei 52% der Verletzungen handelte es sich um eine reine Fraktur des Wirbelkörpers, bei 40% um eine reine Luxation und bei 8% um eine Luxationsfraktur. Neurologische Defizite wurden bei 40% der Patienten erfaßt. Im Einzelnen waren 12% FRANKEL A, 8% FRANKEL B, 8% FRANKEL C und 12% FRANKEL E diagnostiziert.

Die durchschnittliche Zeitspanne zwischen Unfall und Operation betrug 15 Tage, der maximale Zeitraum reichte über 192 Tage, der minimale Zeitraum über einen Tag.

Insgesamt wurden 5 Patienten (20%) mit Verletzung des 2. Halswirbels operiert. Dabei sind 4 (16%) Densfrakturen durch direkte Verschraubung von ventral nach BÖHLER und MAGERL (15) stabilisiert worden. Insgesamt wurden bei den 21 Patienten 30 Segmente mit einer ventralen Spondylodese mit autologem tricorticalen Knochenspan aus dem Beckenkamm und mit einer H-Platte nach OROZCO versorgt. Eine monosegmentale Spondylodese wurde bei 13 Verletzten durchgeführt. Bei 7 Patienten verblockte man 2 Segmente gleichzeitig (bisegmentale Spondylodese). Bei einem Patienten wurden 3 Segmente von C₅ bis TH₁ spondylodesiert.

Die häufigsten postoperativen Komplikationen stellten die pulmonalen Beschwerden mit 16% und die passagere Recurrensirritation mit 12% dar. Ein Materialbruch wurde bei zwei Patienten beobachtet. Spondylophyten und Spangenbildung sind insgesamt bei 10 Patienten zu verzeichnen.

Die zweite Phase unserer Längsschnittanalyse bezieht sich auf erhobene Daten von 19 nachuntersuchten Patienten, wir hatten also 6 Ausfälle in Hinblick auf eine Rücklaufquote zu verzeichnen.

In Hinblick auf subjektiv wahrgenommene Schmerzen ohne Provokation gaben zwei Patienten an, Schmerzen in Ruhe zu empfinden und 6 der Befragten äußerten belastungsabhängige Schmerzen. In Bezug auf im Rahmen der klinischen Nachuntersuchung hervorgerufene Schmerzen, gaben 6 Patienten Druck- und Klopfschmerzen an. Die Bewegungsprüfung erfolgte bei 7 nachuntersuchten Patienten endgradig schmerzhaft.

Im Zusammenhang der Überprüfung der Bewegungseinschränkungen mußte bei dem Großteil der Patienten (ca. 84%) die Einschränkung der Seitenneigung konstatiert werden. In unserer Untersuchung ließ sich feststellen, daß die Bewegungsaufhebung der verblockten Segmente durch die benachbarten Segmente nicht kompensiert werden kann. Weiterhin ließ sich auch die Annahme einer Hypermobilität jener Segmente nicht bestätigen.

Eine neurologische Rückbildungstendenz zeigte sich bei 2/3 der betroffenen Patienten.

Im Rahmen unserer evaluierenden Untersuchung konnte festgestellt werden, daß es sich bei der ventralen Spondylodese um ein sicheres und relativ komplikationsarmes Verfahren zur Behandlung traumatischen Läsionen der Halswirbelsäule handelt.

Zewdie, Shimelis: Die ventrale Spondylodese im operativen Behandlungskonzept von Halswirbelsäulenverletzungen. Halle, Univ., Med. Fak., Diss., 80 Seiten, 2000

INHALTSVERZEICHNIS

<u>EINLEITUNG</u>	1
<u>I. GESCHICHTE DER WIRBELSÄULENBEHANDLUNG</u>	2
<u>II. FUNKTIONELLE ANATOMIE DER HALSWIRBELSÄULE</u>	3
2.1. WIRBEL UND GELENKE	3
2.2. <i>DISCUS INTERVERTEBRALIS</i>	4
2.3. <i>LIGAMENTE</i>	5
2.3.1. DIE BÄNDER, DIE DEN OCCIPITO-ATLANTO-AXIALEN KOMPLEX STABILISIEREN	5
2.3.2. DIE DIE UNTERE HALSWIRBELSÄULE STABILISIERENDEN BÄNDER	6
<u>III. VERLETZUNGSMECHANISMUS DER HALSWIRBELSÄULE</u>	7
<u>IV. DIAGNOSTIK DER HALSWIRBELSÄULENVERLETZUNGEN</u>	8
4.1. KLINISCHE UNTERSUCHUNGEN DER HALSWIRBELSÄULE.....	8
4.2. NEUROLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN	8
4.3. RADIOLOGISCHE DIAGNOSTIK	11
4.3.1. KONVENTIONELLE RÖNTGENDIAGNOSTIK	11
4.3.2. DIE COMPUTER-TOMOGRAPHIE	14
4.3.3. DIE KERNSPINTOMOGRAPHIE	14
5.1. URSACHEN FÜR HALSWIRBELSÄULENVERLETZUNGEN	15
5.2. KLASSIFIKATION DER HALSWIRBELSÄULENVERLETZUNGEN.....	15
<u>VI. BEHANDLUNG DER HALSWIRBELSÄULENVERLETZUNGEN</u>	24
6.1. ALLGEMEINE BEHANDLUNGSPRINZIPIEN	24
6.2. OPERATIVE STABILISIERUNG DER HALSWIRBELSÄULENVERLETZUNGEN	25
6.2.1. OPERATIVE STABILISIERUNG DER INSTABILEN HWS-VERLETZUNGEN	26
<u>VII. SEGMENTVERÄNDERUNGEN DER HALSWIRBELSÄULE NACH ZERVIKALER SPONDYLODESE</u>	31
7.1. FUNKTIONELLE VERÄNDERUNGEN	31
7.2. RADIOLOGISCHE VERÄNDERUNGEN.....	32
<u>VIII. EIGENUNTERSUCHUNG</u>	33
8.1. PATIENTENGUT UND METHODIK	33
8.1.1. <i>HÄUFIGKEITSVERTEILUNG NACH ALTER UND GESCHLECHT DER PATIENTEN</i>	33

8.1.2. URSACHEN DER VERLETZUNGEN	33
8.1.3. DIAGNOSEN	34
8.1.4. KLASSIFIKATION DER VERLETZUNGEN	35
8.1.5. NEUROLOGISCHER STATUS.....	37
8.1.6. ZUSATZVERLETZUNGEN.....	37
8.2. THERAPIE.....	37
8.2.1. PRÄOPERATIVE MAßNAHMEN.....	37
8.2.2. OPERATIONSZEITPUNKT	38
8.2.3. DURCHGEFÜHRTE OPERATIONEN	39
8.3. FUSIONSMATERIALIEN.....	40
<u>8.4. KOMPLIKATIONEN.....</u>	<u>40</u>
8.4.1. INTRAOPERATIVE KOMPLIKATIONEN.....	40
8.4.2. POSTOPERATIVE KOMPLIKATIONEN.....	40
8.5. REOPERATION	41
8.6. POSTOPERATIVE MAßNAHMEN.....	42
8.7. MATERIALENTFERNUNGEN	42
<u>IX. ERGEBNISSE DER NACHUNTERSUCHUNG.....</u>	<u>43</u>
9.1. MATERIAL UND METHODEN	43
9.2. SUBJEKTIVE BEURTEILUNG	43
9.3. DIE OBJEKTIVE BEURTEILUNG	43
9.4. SCHMERZEN IN RUHE.....	45
9.5. KLINISCHE UNTERSUCHUNG.....	45
9.5.1 UNTERSUCHUNG DER HALSWIRBELSÄULE AUF SCHMERZHAFTIGKEIT	45
9.5.2 BEWEGUNGSMESSUNGEN	46
9.5.3 AUSWERTUNG DER NEUROLOGISCHEN BEFUNDE.....	54
9.6. RADIOLOGISCHE ERGEBNISSE	55
9.6.1. DURCHBAUUNG DES KNOCHENSPANES BZW. DER DENSFRAKTUREN	55
9.6.2. MATERIALLOCKERUNG BZW. MATERIALBRUCH.....	56
9.6.3. SPONDYLOPHYTEN- UND SPANGENBILDUNG	56
9.7. BEWEGUNGSMESSUNGEN DER EINZELSEGMENTE.....	57
9.7.1. PATIENTEN MIT EINER DIREKTEN DENSVERSCHRAUBUNG.....	57
9.7.2. PATIENTEN MIT MONOSEGMENTALEN FUSIONEN	58
9.7.3. PATIENTEN MIT BISEGMENTALEN FUSIONEN	60
9.8. KOMPLIKATIONEN.....	62
<u>X. DISKUSSION.....</u>	<u>65</u>
<u>XI. ZUSAMMENFASSUNG.....</u>	<u>74</u>
<u>LITERATURVERZEICHNIS.....</u>	<u>75</u>
<u>THESEN.....</u>	<u>79</u>

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AO:	Arbeitsgemeinschaft für die Osteosynthesenfragen
BE.S:	Bewegungsschmerzen
BS:	Belastungsschmerzen
CT:	Computertomogramm
DS:	Druckschmerzen
HWS:	Halswirbelsäule
KS:	Klopfschmerzen
Lig.	Ligamentum
Max. :	Maximum
Min.:	Minimum
MLU:	Martin-Luther-Universität
MRT:	Magnetresonancetomogramm.
RS:	Ruhschmerzen
Zugsch. :	Zugschmerzen

Einleitung

Die erste ventrale interkorporelle Spondylodese der Halswirbelsäule wurde 1952 von BAILEY und BADGLEY (11) beschrieben. Seit den Publikationen von CLOWARD (28, 29) sowie SMITH und ROBINSON (60) ist sie zu den Standardmethoden bei der Versorgung von Verletzungen der Halswirbelsäule geworden. Die vorliegende Studie stellt die Nachuntersuchungsergebnisse von Patienten vor, die im Zeitraum vom Juli 1991 bis zum Januar 1996 auf Grund einer Verletzung der Halswirbelsäule im Bereich von C₂ bis C₇ eine ventrale Stabilisierung (Densverschraubung bzw. interkorporelle Spondylodese) erhielten. In diesem Kontext sollte es vordringlich darum gehen, die ventrale Spondylodese an der Halswirbelsäule zu evaluieren bzw. der Frage nachzugehen, ob eine bloße ventrale Stabilisierung den Anforderungen einer instabilen Situation gerecht werden kann. In Hinblick auf benannte Problematik bezieht sich die Analyse der von uns untersuchten Patienten auf folgende Aspekte:

- Komplikationen, die intra- und postoperativ eingetreten waren,
- ob eine postoperative neurologische Befundverbesserung bzw. -verschlechterung zu verzeichnen ist,
- ob radiologische Veränderungen vor allem an den der Spondylodese benachbarten Segmenten eingetreten sind,
- zu beobachtende postoperativ eingetretene und röntgenologisch feststellbare Bewegungsverluste der Halswirbelsäule sowie
- ob subjektive Beschwerden und Einschränkungen vorfindlich sind.

Den Ergebnissen der Eigenuntersuchung (Kap. VIII. und IX.) habe ich für das bessere Verständnis der hier problematisierten Thematik die Geschichte der Halswirbelsäulenverletzung (Kap. I.), allgemeine Betrachtungen zur Halswirbelsäulenverletzung (Kap. II. bis V.), die Besprechung des Gegenstandes in der Fachliteratur sowie die Erörterung von Behandlungsmethoden (Kap. VI. und VII.) vorangestellt.

Abschließend werden die zentralen Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung diskutiert und nochmals zusammengefasst (Kap. X. und XI.).

Verletzungen von Halswirbelsäulen werden vielfältig und auf unterschiedliche Weise eingeteilt, wobei jedoch keines der vorhandenen Klassifikationssysteme allgemein akzeptiert ist. In dieser Arbeit wird auf die Klassifikation der Halswirbelsäulenfrakturen nach AEBI und NAZARIAN (3) Bezug genommen.

Die in der hier thematisierten Untersuchung gewonnenen Daten werden mit in der Literatur zu findenden Ergebnissen verglichen, womit sich auf die Stärke oder Schwäche der ventralen Spondylodese schließen lässt, was letztlich wiederum den künftigen Unfallopfern mit Halswirbelsäulenverletzung zugute kommen kann.

I. Geschichte der Wirbelsäulenbehandlung

Die erste klinisch eindrucksvolle Beschreibung von Wirbelsäulenverletzungen findet sich in einem alten ägyptischen Papyrus etwa 2500 v. Chr. (27). Hier wurde die Instruktion für diagnostische Merkmale einer Halswirbeldislokation so 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."

Nach heutiger Kenntnis muß es sich bei dieser Beobachtung um eine Querschnittlähmung handeln, die durch eine Luxation oder Luxationsfraktur verursacht ist.

HIPPOKRATES schrieb über die Wirbelbrüche mit Lähmung, daß sie durch eine Überstreckung zustande kommen, daß er kein Verfahren kennt, mit dem man eine derart verschobene Wirbelsäule einrichten könne, und daß diese Verletzten sterben müssen (19).

Er schlug für die Behandlung von Halswirbelsäulenverletzungen ohne Lähmung das Ziehen am Nacken vor. Für die Reposition von Brust- und Lendenwirbelsäulenverletzungen empfahl er die Extensionsbank, die später als Scamnum Hippokratis beschrieben wurde. Der Patient befand sich in Bauchlage auf dem Scamnum und wurde mit Stricken von den Schultern aufwärts und von der Hüfte abwärts extendiert, während der Heilkundige auf dem Gibbus entweder sitzend oder stehend die Deformation mit seinem Körpergewicht einpreßte. Neben der konservativen Behandlung wurde bereits im 7. Jahrhundert die operative Behandlung in Erwägung gezogen. PAULUS VON AGINA (59) schlug vor, daß auf das Rückenmark drückende Bruchstück operativ zu entfernen.

AMBROISE PARÉ und MERCATUS (19) haben im 16. Jahrhundert die Einrichtung in vertikaler Suspension eingeführt.

1891 operierte HADRA (36) als erster den Fall einer Luxationsfraktur der Halswirbelsäule. Dabei stabilisierte er die Verletzung durch eine Drahtzuggürtung zwischen den benachbarten Dornfortsätzen. MACEWEN (19) empfahl 1896 für die Behandlung der Wirbelbrüche mit Lähmungen das Entfernen der Dornfortsätze und der Bögen und nannte diese Operation *Laminektomie*. MAGNUS hatte 1929, 1930 und 1931 (19, 45) die Laminektomie vollständig abgelehnt. Er begründete dies damit, daß die Lähmungen entweder durch eine Hämatomyelie bedingt sind - dann gingen sie spontan zurück; oder das Rückenmark durchgequetscht ist - dann blieben die Lähmungen bestehen und die Operation wäre zwecklos. 1909 versuchte FRITZ LANGE (42) aus München die Wirbelfrakturen operativ zu stabilisieren, indem er zwei Stahlstäbe mit Drähten an den Dornfortsätzen verbunden und damit die Wirbelsäule gesichert hat.

1911 haben FRED ALBEE (5) und RUSSEL HIBBS (37) die Ergebnisse ihrer Wirbelsäulenfusionen publiziert, die sie bei tuberkulösen Deformierungen der Wirbelsäule angewendet haben. L. BÖHLER (18) vertrat 1930 die konservativ-funktionelle Behandlung der Wirbelfrakturen. So wurden die drei Forderungen der Knochenbruchbehandlung (Einrichten, Ruhigstellen, Üben) zum ersten Mal planmäßig auch für die Wirbelbrüche durchgeführt.

Die anschließende Entwicklungsperiode der Wirbelsäulenbehandlung ist von den Europäern geprägt. In den letzten Jahren wurde die Behandlung der Wirbelfrakturen durch die Entwicklung der Traumatologie entscheidend verbessert. Dabei wurde neben der operativen Aufrichtung der Fraktur und der konservativ- funktionellen Behandlung eine ganze Reihe von Stabilisierungsverfahren und Zugangswegen entwickelt.

Die Technik der Stabilisierung der Halswirbelsäule wurde durch die Pionierarbeit von CLOWARD, SMITH-ROBINSON, J. BÖHLER, MAGERL, ROY-CAMILLE, LOUIS u.a. weiter ausgebaut und wurde so immer erfolgreicher.

II. Funktionelle Anatomie der Halswirbelsäule

Um die Verletzungsmechanismen der Halswirbelsäule und ihre Behandlungsmöglichkeiten zu verstehen, ist die anatomische Kenntnis von großer Bedeutung. An der Halswirbelsäule lassen sich folgende anatomische Grundstrukturen unterscheiden:

1. Wirbel und Gelenke,
2. Discus intervertebralis,
3. Ligamente.

Das Zusammenwirken dieser Grundstrukturen ermöglicht der Wirbelsäule die Funktion, Lasten und Momente zwischen Kopf und Rumpf zu übertragen (statische Funktion), Bewegungen zwischen Körperpartien zu ermöglichen (dynamische Funktion), und das Rückenmark vor äußeren Schäden zu schützen (Schutzfunktion).

2.1. Wirbel und Gelenke

Die Halswirbelsäule umfaßt 7 Halswirbel. Die Körper der Halswirbel sind im Verhältnis zu den anderen Wirbelkörpern klein, da sie ja nur den Kopf (7% des Körpergewichtes) zu tragen haben. Durch die gelenkige Verbindung des Schädels mit der Halswirbelsäule sind der 1. und der 2. Halswirbel in ihren Formverhältnissen sehr abweichend von den übrigen Halswirbeln gestaltet.

Die Form des Atlas unterscheidet sich von den anderen Wirbeln dadurch, daß der Körper fehlt. Der Atlas besteht hauptsächlich aus zwei massigen Seitenstücken, (Massae laterales), die die Gelenkflächen für die Gelenkverbindung des Atlas mit dem Schädel und dem 2. Halswirbel tragen. Die beiden Massae laterales sind durch einen vorderen und hinteren schmalen Bogen, Arcus anterior und posterior, miteinander verbunden. Der Dens des 2. Wirbels nimmt den Platz

des ersten Wirbelkörpers ein und artikuliert an der hinteren Fläche des Tuberculum anterius, Fovea dentis. Der Arcus posterior trägt an Stelle des Dornfortsatzes ein Tuberculum posterius. Durch die beiden Foramina in den processi transversi des Atlas verlaufen die Arteriae vertebrales, die dann durch das Foramen magnum in den Schädel treten.

Die oberen Gelenkflächen des Atlas, Foveae articulares superiores, sind konkav und von anterior nach posterior orientiert und ermöglichen dadurch eine maximale Flexion-Extension-Bewegung. Die unteren Gelenkflächen, Foveae articulares inferiores, sind ebenfalls konkav und von medial nach lateral orientiert und ermöglichen die Rotationsbewegungen um die oberen Gelenkfacetten des 2. Halswirbels.

Am Axis ist auffallend ein von seinem Körper in kranialer Richtung ausgehender, zapfenförmiger Fortsatz, der Dens. Der Dens trägt zwei Gelenkflächen, Facies articularis anterior und posterior. Zur gelenkigen Verbindung mit dem Atlas dienen zwei Gelenkflächen, Facies articulares superiores, und zur Verbindung mit dem 3. Halswirbel ebenfalls zwei Facies articulares inferiores.

Die unteren fünf Wirbelkörper und Gelenke sind einander sehr ähnlich. Sie sind so konstruiert, daß sie eine limitierte Flexion, Extension, Seitenneigung, Rotation und Stabilität gewährleisten.

Der obere Pol des Wirbelkörpers ist kelchförmig und posterolateral befinden sich zwei kleine Gelenkflächen (Luschka Gelenke), die mit dem darüberstehenden Wirbel in Verbindung stehen. Der ventrale Anteil des Wirbels ist ein spongöser Knochenblock mit einer dünnen Corticalis und leicht konkaven Deckplatten. Der hintere Anteil ist der knöcherne Bogen, bestehend aus 2 Pedunculi und einer paarig angelegten Lamina. Dort entspringen die Gelenkfortsätze, Querfortsätze und die Dornfortsätze. Jeder Processus transversus vom ersten bis zum sechsten Halswirbel weist ein Foramen auf, durch das die Arteria vertebralis läuft.

Die Gelenkflächen der Processi articulares sind im 45 Grad-Winkel von vorn nach hinten geneigt und ermöglichen eine Gleitbewegung der Wirbel nach vorn, hinten und eine Seitenneigung.

Die Foramina transversaria zwischen zweitem und siebentem Wirbel befinden sich posterior und lateral des Wirbelkörpers und anterior des Processus articularis. Sie bergen Nerven, Ganglion und Gefäße.

2.2. Discus intervertebralis

Im beweglichen Teil der Wirbelsäule sind die einzelnen Wirbel durch Gelenke, Bänder und Bandscheiben miteinander verbunden. Die Wirbelscheibe, Discus intervertebralis, befestigt sich an den Endflächen zweier benachbarter Wirbelkörper. Man unterscheidet drei Grundstrukturen in Hinblick auf den Aufbau des Discus intervertebralis: Den Nucleus pulposus, den Anulus

fibrosus und die knorpeligen Endplatten. Der zentral gelegene Nucleus pulposus besteht aus einem Mukoproteingel mit verschiedenen Mukopolysacchariden und einem variablen Wassergehalt von 70 bis 90%. Der Nucleus pulposus ist als der mechanisch wichtigste Bestandteil der Zwischenwirbelscheibe anzusehen, da er den Druck gleichmäßig radiär verteilt und damit die Fasern des Anulus fibrosus in jeder Stellung der Wirbelsäule unter Spannung hält. Peripher vom Nucleus pulposus liegen in konzentrischen Schichten die Fasern des Anulus fibrosus. Die Fasern heften sich in der inneren Zone an die hyaline knorpelige Endplatte an. In der äußeren Schicht sind sie direkt mit dem Knochen des Wirbelkörpers verbunden und werden Sharpey'sche Fasern genannt. Die Disci intervertebrales stellen den limitierenden Faktor der Bewegung der Wirbelkörper zueinander dar, während die Gelenke die Bewegungsrichtung festlegen.

2.3. Ligamente

Der Bandapparat hat die Aufgabe der dynamischen Stabilisierung der Wirbelsäule, d.h. Bewegungen zu erlauben und ab einem gewissen Ausmaß zu limitieren, sowie hohe Energien, wie sie bei einem Trauma auftreten, zu absorbieren. Beim Überschreiten der Absorptionskapazität kommt es entweder zur Fraktur oder zur Ruptur oder zu beidem. Bei langsamen Kraftanstieg entsteht eher die Läsion am Knochen, bei raschem Anstieg kommt es zur ligamentären Verletzung (52). Um die Aufgabe der dynamischen Stabilisierung der Ligamente zu verstehen, müssen wir sie in zwei Gruppen einteilen: 1. die Bänder, die den occipito-atlanto-axialen Komplex stabilisieren und 2. die Bänder, die die untere Halswirbelsäule stabilisieren.

2.3.1. Die Bänder, die den occipito-atlanto-axialen Komplex stabilisieren

Der Kopf ruht auf der Wirbelsäule. Die Gelenke werden in das obere und untere Kopfgelenk geteilt.

Das obere Kopfgelenk besteht aus zwei anatomisch getrennten Gelenken, den Artt. atlantooccipitales, die von den condyli occipitales und den Foveae articulares superiores gebildet werden.

Das untere Gelenk besteht aus drei Gelenken: einem mittleren, Art. atlantoaxialis mediana, und zwei seitlichen, Artt. atlantoaxiales laterales.

Die Bandstrukturen des atlanto-occipito-cervicalen Komplexes sind folgendermaßen zu beschreiben:

1. Das Ligamentum apicis dentis ist ein elastisches Band und zieht von der Spitze des Dens zum Os occipitale.

2. Das Ligamentum cruciforme atlantis setzt sich aus einem kräftigen Ligamentum transversum atlantis und zwei schwächeren Fasciculi longitudinales zusammen. Der obere Schenkel der Fasciculi longitudinales ist am vorderen Rand des Foramen magnum befestigt, der untere am Körper des Axis. Das Ligamentum transversum atlantis ist an beiden Massae laterales des Atlas befestigt, zieht hinter dem Dens vorbei und berührt ihn an seiner Facies articularis posterior. Das Ligamentum transversum verhindert ein Abknicken des Dens zum Spinalkanal hin.

3. Die Ligamenta alaria sitzen seitlich am Dens, sind an der medialen Seite des Condylus occipitalis befestigt und limitieren somit die Rotation des Kopfes.

4. Die Membrana tectoria ist eine verbreiterte Fortsetzung des Ligamentum longitudinale posterius und inseriert am vorderen Rand des Foramen occipitale magnum. Sie hat stabilisierende Wirkung auf Flexion und Extension.

5. Membrana atlantooccipitalis anterior und posterior.

6. Membrana atlantoaxialis anterior und posterior.

Die beiden Membranen verbinden den Bogen des 1. und 2. Halswirbel mit dem Hinterrand des Foramen magnum und stellen die Fortsetzung des Ligamentum flavum.

2.3.2. Die die untere Halswirbelsäule stabilisierenden Bänder

Sieben Ligamente sind an der Wirbelsäule von Bedeutung.

1. Das Ligamentum longitudinale anterius erstreckt sich von der vorderen Fläche des Atlas entlang der Wirbelkörpervorderflächen bis in den oberen Teil des Sacrums. Es ist fest verbunden mit den Wirbelkörpern und in lockerem Verband mit dem Anulus fibrosus des Discus intervertebralis.

2. Das Ligamentum longitudinale posterius verläuft über die Hinterflächen der Wirbelkörper bis zum Steißbein. Proximal des 2. Halswirbel läuft es über die Hinterfläche des Dens und inseriert als Membrana tectoria am vorderen Rand des Foramen occipitale magnum.

3. Die intertransversalen Bänder erstrecken sich zwischen benachbarten Querfortsätzen.

4. Die Kapselbänder der Intervertebralgelenke verlaufen senkrecht zur Gelenkfläche.

5. Das Ligamentum flavum erstreckt sich zwischen den Wirbelbögen und schließt zusammen mit diesen den Wirbelkanal an der dorsalen Seite ab.

6. Das Ligamentum interspinale liegt zwischen den einzelnen Dornfortsätzen und ist an der Halswirbelsäule schwach entwickelt.

7. Das Ligamentum supraspinale ist an der Halswirbelsäule als Ligamentum nuchae bekannt.

Das Ligamentum interspinale und das Ligamentum supraspinale limitieren die Flexionsbewegung der Halswirbelsäule.

III. Verletzungsmechanismus der Halswirbelsäule

Die Bewegungsabläufe an der Wirbelsäule werden in einem dreidimensionalen Koordinatensystem mit den Achsen X, Y und Z beschrieben (54). Auf den Wirbelkörper können Kräfte und Momente einwirken. Die Kräfte verursachen eine Translation, die Verschiebung entlang einer Achse und die Momente einer Rotation des Wirbelkörpers um eine Achse. Insgesamt können also zwölf gerichtete Kräfte bzw. Momente auf den Wirbelkörper einwirken (54).

Eine in der Longitudinalachse wirkende Kraft führt zu Kompression oder Zug, ein Moment zu Links- oder Rechtsrotation. In der Transversalachse verursacht eine Kraft einen seitlichen Schub und ein Moment eine Flexion oder Extension. Kräfte in der sagittalen Achse bewirken eine Scherwirkung in a.p. Richtung bzw. Seitwärtsneigung.

In Abhängigkeit von der Massenverteilung des betroffenen Körpers zum Zeitpunkt des Unfalls löst eine Kraft unterschiedliche Kräfte und Momente in den Teilmassen aus. Die Antwort auf die Krafteinwirkung setzt sich aus den Einzelreaktionen der verschiedenen Bewegungssegmente der Wirbelsäule in Zuordnung zu den Teilmassen des Körpers zusammen.

ALLEN et al. (6), HOLDSWORTH (39) und GEHWEILER (32) haben die bei den Halswirbelsäulenverletzungen auftretenden Kräfte wie folgt aufgeteilt: Distraction/Flexion 37%, Kompression/Flexion 22% und Kompression/Extension 24%. Diese Verletzungsmechanismen können allerdings nicht allein für die traumatische Läsion der Wirbelsäule verantwortlich gemacht werden (3). An der beweglichen Halswirbelsäule spielen die Rotationsbewegungen eine wichtige Rolle (10, 57).

Nach der Untersuchung von GOSCH (34) und ROAF (54) führen Kräfte an der Wirbelsäule, insbesondere Kompressionskräfte, zu Frakturen und die Momente im Zusammenhang mit den dadurch bedingten Rotationsbewegungen zu Bandrupturen, Luxationen und/oder Luxationsfrakturen. GOSCH (34) hat in einer experimentellen Studie nachgewiesen, daß auch extreme Bewegungen im Sinne der Flexion und Extension in der Sagittalebene zu Kompressionsfrakturen, aber nicht zu Rupturen der Bänder führen. Erst die Kombination mit einer Rotationsbewegung führt zur Bandruptur bzw. Luxation. Der aktuelle Muskeltonus spielt bei der Frakturstehung im Bereich der Wirbelsäule eine große Rolle. Die Bewegungssegmente in Abhängigkeit von der Körperhaltung stehen durch den Muskeltonus unter einer bestimmten Vorspannung. Durch die Anspannung der Muskulatur werden die Bewegungsmöglichkeiten der Teilmassen gegeneinander vermindert oder ausgeschlossen und ein Teil der Kraft durch die Muskulatur abgepuffert.

Die unterschiedlichen anatomischen Gegebenheiten im Verlauf der Wirbelsäule stellen unterschiedliche Frakturtypen dar. Dabei sind neben den besonderen anatomischen Details

eines einzelnen Wirbelkörpers die Lordose und Kyphose sowie Form und Stellung der Gelenkfacetten der Wirbelbogengelenke von besonderer Bedeutung.

In der oberen Halswirbelsäule ist wegen der Stellung der Gelenkflächen der Torsionswiderstand gering. Es liegt eine günstige Konstellation für die Rotation vor. Die abrupte Änderung des Torsionswiderstandes führt zur Verletzungshäufigkeit in diesem Bereich.

IV. Diagnostik der Halswirbelsäulenverletzungen

4.1. Klinische Untersuchungen der Halswirbelsäule

Durch klinische Untersuchungen erhält man für die Röntgendiagnostik wichtige Lokalisationshinweise. Die Untersuchung des Patienten erfolgt im Liegen. Bei der Inspektion ist auf schmerzbedingte Schonhaltung - eine "krampfhaftige" Schräghaltung des Kopfes zu achten. Bei der Palpation werden die Konsistenz der Haut, tastbare Haematome und muskuläre Verspannung geprüft. Bei dieser Palpation ist darauf zu achten, daß keine Manipulation der Halswirbelsäule erfolgt, da dies eine Befundverschlechterung zur Folge haben könnte. Liegt eine massive muskuläre Verspannung vor, so wird von weiteren klinischen Untersuchungen Abstand genommen. Die weitere Diagnose wird durch Röntgenaufnahmen gestellt. Wenn es sich um keine osteoligamentären Verletzungen handelt, wird die Beweglichkeit der Halswirbelsäule geprüft.

4.2. Neurologische Untersuchungen

Die neurologische Untersuchung ist Bestandteil der Erstuntersuchung, spielt aber auch bei der Verlaufskontrolle eine entscheidende Rolle. (Siehe Indikation für ventrale Spondylodese). Hierbei wird der Patient, sofern er bei Bewußtsein ist, aufgefordert, Arme und Beine zu bewegen (aktive Beweglichkeit der Extremitäten) und nach der Wahrnehmung von Schmerz- und Berührungsreizen an den Beinen, am Rumpf und an den Armen befragt.

Die klinische Untersuchung ist bei bewußtseingetrübten Patienten schwierig. Folgende Punkte geben Hinweise auf eine Querschnittlähmung bei Bewußtlosen:

- schlaffer Muskeltonus
- fehlende oder abgeschwächte Abwehrreaktion auf Schmerzreize
- reine Bauchatmung
- Priapismus

Außerordentlich große Bedeutung kommt der Untersuchung der Funktion der unteren sakralen Segmente zu. Oft sind Funktionsreste in diesen Segmenten der einzige Hinweis darauf, daß die Rückenmarkverletzung inkomplett ist. Andererseits können sich bei Verletzungen im thorakolumbalen Übergangsbereich die neurologischen Ausfälle auf diese Segmente beschränken. In diesem Zusammenhang sind zu prüfen:

- Sensibilität perianal, Analreflex sowie
- Sphinktertonus (rektale Untersuchung), aktive Sphinkterkontraktion und Bulbokavernosusreflex

Außerdem soll ein genauer Reflexstatus erhoben werden. Bei der Erfassung der neurologischen Störungen hat man zwischen medullären und radikulären Ausfallerscheinungen zu unterscheiden.

Medulläre Symptome

Bei einer Querschnittlähmung kommt es je nach Höhe der Läsion zu motorischen und sensiblen Ausfällen, zu einer Störung der Blasen-, Mastdarm- und Sexualfunktionen sowie auch zu weiteren vegetativen Funktionsstörungen. Durch eine neurologische Untersuchung wird geprüft, bis zu welchem Segment eine gestörte Rückenmarkfunktion besteht. Bei einer Läsion in den Segmenten C₁-C₄ besteht neben einer kompletten Tetraplegie eine vollständige Atemlähmung. Dabei ist das Überleben des Patienten nur durch sofortige künstliche Beatmung zu sichern. Eine exakte Trennung der Höhe der Querschnittsläsion aus dem Zervikalbereich von denen aus dem Thorakalmark gelingt ausschließlich im Bereich von Unterarm und Hand mit dem neurologischen Kontrolldreieck. Eine Einschränkung der Berührungs- oder Schmerzempfindung am Daumen spricht für eine Schädigung des 6. Halsmarksegmentes, im Kleinfingerbereich verweist sie auf C₈, im inneren Ellenbogenbereich auf TH₁. Bei Lähmungserscheinungen der Rumpf- und Extremitätenmuskeln aller vier Gliedmaßen, und gleichzeitig fehlender Schmerzempfindung im Kontrolldreieck und vom Brustkorb an abwärts, ist das Rückenmark in Höhe der Halswirbelsäule verletzt, d.h. es besteht eine Tetraplegie. Eine sinnvolle Ergänzung der Höhenlokalisierung mittels sensibler Hautareale bieten motorischerseits einige Kennmuskeln. Die Innervation des Musculus deltoideus erfolgt aus den Halsmarksegmenten C₄ und C₅, die Innervation des Musculus biceps aus C_{5/6} und die des Musculus trizeps ebenso wie des Musculus extensor carpi radialis aus C_{6/7}. Ausfälle der Fingerbeuger, des Daumenstreckers und der Interossei sprechen für eine Schädigung in Höhe C₈.

Radikuläre Ausfälle

Radikuläre Ausfälle liegen vor, wenn die Störungen bestimmten Nervenwurzeln zugeordnet werden können. Ursache ist zumeist eine temporäre oder permanente Quetschung der Wurzel durch Einengung der Foramen.

Im Zervikalbereich kommen nach der Häufigkeit meist C₇, C₆, C₅, C₈- und C₄-Syndrome vor.
C₄-Syndrom: Die Kompression der Wurzel C₄ führt zu Schmerzen im Bereich der Schulter, eine Hypalgesie ist im Hals- und Schulterbereich vorzufinden. Der radiologische Nachweis einer Zwerchfelparese ist entscheidend für die Diagnose.

Das C₅-Syndrom ist gekennzeichnet durch Schmerzen im Bereich der Oberarmaußenseite, die Sensibilitätsstörung betrifft einen Bezirk über dem M. deltoideus. Motorisch sind der M. deltoideus und der M. biceps brachii betroffen. Das Abduzieren des Armes ist nur mit verminderter Kraft auszuführen; es besteht eine deutliche Schwäche beim Beugen des Armes.

Das C₆-Syndrom zeigt Schmerzen an der Rückseite des Oberarmes, die über den radialen Unterarm zum Daumen ausstrahlen. Das entsprechende Dermatom ist sensibel betroffen. Motorisch sind der M. Brachioradialis, der M. biceps brachii und die Extensor im Handgelenk betroffen.

Das C₇-Syndrom geht mit Schmerzen einher, die sich von der Halswirbelsäule über die Oberarm- und Unterarmstreckseite bis zum 2. und 3. Finger ziehen und durch Kopfdrehen oder Neigung zu der betroffenen Seite sowie durch Husten verstärkt werden. Die Sensibilitätsstörung betrifft den Mittelfinger, Paresen treten im M. triceps brachii, im M. pronator teres und im M. pectoralis auf.

Das C₈- Syndrom führt zu Schmerzen, die zum kleinen Finger ausstrahlen, das Dermatom betrifft neben dem 4. und 5. Finger den distalen ulnaren Unterarm. Motorisch fallen die Fingerbeuger und der Hypothenar aus; der Patient kann die Finger nicht auseinander spreizen (Interossei).

4.3. Radiologische Diagnostik

4.3.1. Konventionelle Röntgendiagnostik

Die Röntgenuntersuchung der verletzten Halswirbelsäule steht im Zentrum der ärztlichen Bemühungen um den unfallverletzten Patienten. Bei allen Patienten mit Verdacht auf eine Halswirbelsäulenverletzung oder Schädelhirnverletzung sollte die Aufnahme der Halswirbelsäule durchgeführt werden. Wegen der meist schweren Traumatisierung des Patienten ist die klinische Untersuchung nur orientierend möglich. Die aus dem Röntgenbild erhaltenen Informationen bestimmen weitgehend Art und Umfang der einzuschlagenden Maßnahmen. Aus diesem Grunde müssen hohe Anforderungen an Aufnahmequalität und Sorgfalt der Bildbetrachtung gestellt werden.

Die Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule sind prinzipiell in zwei Ebenen auszuführen. Durch diese Aufnahmen sollte die gesamte Halswirbelsäule von C₇ bis Os occipitalis dargestellt werden. In der Praxis gestaltet sich jedoch die Darstellung der unteren Halswirbelsäule wegen des durch den Muskeltonus bedingten Schulterhochstandes schwierig. Daher ist es notwendig, die Schultern durch passives Herabziehen der Arme aus dem Strahlengang zu bringen. Gelingt dies nicht, so ist die Aufnahme in Schwimmerstellung durchzuführen. Routinemäßig ist auch eine transorale Aufnahme zur Darstellung von Dens, Atlas und Epistropheus vorzunehmen.

Die rechte und linke Schrägprojektion mit nach kranial gerichtetem Strahlengang eignet sich zur Darstellung des vorderen Anteils der Foramina, die Schrägprojektion mit nach caudal gerichtetem Strahlengang nach DORLAND für den hinteren Anteil der Foramina und insbesondere die Gelenkfläche der kleinen Wirbelgelenke. Bestehen Anhaltspunkte für eine Band- oder Bandscheibenzerreißung, sind gehaltene Aufnahmen in Flexion und Extension unter gleichzeitigen Längszug ohne Kraft- und Gewalteinwirkung durch den Arzt indiziert. Bestehen bereits aufgrund der Standarduntersuchungen Anhaltspunkte für eine instabile Verletzung, sind solche Funktionsaufnahmen verfehlt. Mit diesen Untersuchungen können nach SCHAFFER et al. (58) ca. 90% der potentiell instabilen Verletzungen diagnostiziert werden.

WACHENHEIM et al. (68) haben das Problem der Diagnostik der Instabilität der mittleren und unteren Halswirbelsäule anhand konventioneller Röntgenaufnahmen unter folgenden Aspekten dargestellt.

Elementare radiologische Zeichen

Frakturen

Sie sind durch eine Unterbrechung der Kontinuität, mit wohldefiniertem Rand und ohne Osteokondensation, bestimmt. Auf jeder Seite des Frakturspalts bleibt die Knochenstruktur erhalten.

Wirbelkörperkompressionsfrakturen

Bei diesen Frakturen ist die Spongiosa des Wirbelkörpers betroffen, wobei deren Organisation und Architektur gestört sind. Die Kompressionsfraktur liegt am häufigsten im vorderen Drittel des Wirbelkörpers. Läsionen mit mehr als 25% Höhenminderung werden als instabil betrachtet (STAUFFER (62)) und von einer Ruptur der hinteren Bandstrukturen begleitet.

Kantenabsprengungen

Es handelt sich um Frakturen der vorderen, oberen oder unteren Wirbelkörperkante mit dreieckigem Fragment. Sie sind von Osteophyten oder der Verkalkung des vorderen Längsbandes zu unterscheiden. Kantenabsprengungen sind stabil. Sie können aber auch gemeinsam mit Luxationen oder mit Teardrop-Fractures auftreten, die zu einer schweren Instabilität führen können. STAUFFER (62) betrachtet die Kantenabsprengung als instabil, wenn die Fragmentbreite größer mehr als 20% des betroffenen Wirbelkörpers bezeichnet.

Tear-drop-fractures

Das Vollbild einer Tear-drop-fracture liegt vor, wenn zusätzlich zur dorsalen, ligamentären Zerreißung auch die Wirbelkörperhinterkante nach dorsal verlagert ist.

Typ I: Diese Verletzung entsteht durch eine Kombination von Kompressions- und Scherkräften in Flexionsstellung der HWS.

Folgende Merkmale können hier als Indikatoren verwendet werden:

- der Abbruch eines dreieckigen knöchernen Fragments von der vorderen und unteren Ecke eines Wirbelkörpers,
- das abgerissene Fragment bleibt in einer Linie mit den vorderen Anteilen der darunterliegenden Wirbelkörper,
- der Discus intervertebralis ist zerrissen,
- ligamentäre und kapsuläre Zerreißung im Bereich der hinteren Wirbelanteile.

Außerdem können Tear-drop-Frakturen mit einer Berstung des Wirbelkörpers und meist sagittal verlaufender Laminafraktur kombiniert sein.

Typ II: Eine solche Verletzung ist durch die axiale Kompression in Extensionsstellung der HWS verursacht. Die Längsbänder werden zunächst überdehnt, dann die Facettengelenke bis zum Anschlag beansprucht. Bei fortgesetzter Gewalteinwirkung brechen die Processi spinosi und articulares sowie die Lamina. Das Myelon kann dorsal zwischen dem eingeschlagenen, gefalteten Lig. flavum, der Lamina und den Spondylophyten sowie dem Anulus fibrosus des

Discus eingeklemmt und gequetscht werden. Es handelt sich oft um ältere Patienten, deren HWS-Beweglichkeit stark eingeschränkt ist. Je rigider eine Wirbelsäule ist, umso höher ist der Grad einer posttraumatischen Instabilität.

Spondylolisthesis

Die Spondylolisthesis ist eine Verschiebung der Wirbelkörper gegeneinander, die sich auf der Seitenaufnahme zeigt. Die Richtung der Verschiebung wird in Bezugnahme auf den unteren Wirbelkörper angegeben.

Eine Verschiebung um mehr als 3,5 mm ist im allgemeinen mit einer Bänder- und Bandscheibenläsion verbunden.

Uncovertebraldehiszenz

Hierbei handelt es sich um eine Diastase der Wirbelkörper im Bereich der Luschka-Gelenke. Sie lässt sich auf den Schrägaufnahmen durch eine Dehiszenz zwischen Uncus und lateraler Wand des darüberliegenden Wirbelkörpers erkennen und ist Anzeichen einer Läsion der homolateralen kleinen Wirbelgelenke hin. Tritt derartiges einseitig auf, liegt eine Rotationsinstabilität vor, bei doppelseitigem Befund handelt es sich um eine Luxation.

Fehlstellung und Winkelabweichung der Dornfortsätze.

Nach STAUFFER (62) liegt eine ligamentäre Störung in der mittleren Säule vor, wenn der Winkel zwischen zwei benachbarten Dornfortsätzen mehr als 11° beträgt (normal $2-4^\circ$).

Das Zeichen der unbedeckten Gelenkfacette

Der deutlichste Indikator einer schweren ligamentären Instabilität ist eine Verschiebung der Gelenkflächen zueinander von mehr als 50%. Dieses Auseinandergleiten der kleinen Wirbelgelenke kann auf einer Aufnahme in Neutralstellung oder erst auf Funktionsaufnahmen zu sehen sein.

Das Zeichen der Narrenkappe

Dieses Zeichen sieht man auf der strengen Seitenaufnahme und ist Ausdruck einer dislozierten Fraktur des oberen Gelenkfortsatzes. Normalerweise kommt es bei der Neigung zur Dopplung der oberen und unteren Deckplatten und bei der Rotation zur Dopplung der Gelenk-Lamina-Linien. Bei dem Zeichen der Narrenkappe kommt es zur Verschiebung der rechten und linken

oberen Gelenkfortsätze gegeneinander, wobei der frakturierte Gelenkfortsatz nach vorn wandert.

4.3.2. Die Computer-Tomographie

Die Bedeutung der konventionellen Röntgendiagnostik reduziert sich auf den Nachweis oder Ausschluß grobanatomischer Normabweichungen.

Die axiale Röntgen-Computer-Tomographie stellt für die Diagnostik der Wirbelsäulenverletzungen einen erheblichen Fortschritt dar, weil sie prinzipiell in der Lage ist, sowohl Weichteil- als auch knöcherne Strukturen darzustellen. Sie eignet sich zur Verifizierung von Frakturen, die bei konventionellen Aufnahmen nicht gesehen worden sind und zur Darstellung des Schweregrades und der Ausbreitung ossärer Verletzungen. Ein CT informiert zusätzlich über eventuelle Bandscheibenprotusionen oder im Spinalkanal liegende knöcherne Fragmente. Dies ist für die Beurteilung der Atlas-Axis Region von besonderer Bedeutung.

Durch computertomographische Rekonstruktion sind Verletzungen der Wirbelbogengelenke und Einengungen der Foramina genau feststellbar. Auch Bogenbrüche sind gut erkennbar.

Hieraus ergeben sich OP-Indikation sowie operationstaktische Überlegungen.

4.3.3. Die Kernspintomographie

Die Kernspintomographie ist kein röntgendiagnostisches, sondern ein Magnet-Resonanzverfahren.

Im Gegensatz zur Computer-Tomographie ermöglicht sie die Erstellung direkter horizontaler, sagittaler und frontaler Schnittbilder und damit eine direkte Darstellung aller drei Raumebenen.

Die Computertomographie ist zwar in der Lage, neben den ossären Veränderungen der mittleren und dorsalen Säule auch Aussagen über eine Diskusverlagerung zu treffen, aber das MRT ermöglicht die direkte Darstellung des Rückenmarkes und seiner Paranchymschäden. Hier können auch Knochen- und Diskusfragmente erkannt und in Beziehung zum Rückenmark gesetzt werden. Dies ist die Voraussetzung für eine gezielte offene Dekompression.

Eine Indikation zur Kernspintomographie ist dann gegeben, wenn mit den anderen Verfahren bei einem vorliegenden neurologischen Defizit keine Verletzung nachgewiesen werden konnte (70).

Sie hat in der Bewertung knöcherner Strukturen einen geringeren Stellenwert, ist jedoch zur Beurteilung der Bandscheiben und des Verletzungsausmaßes am Rückenmark selbst von großer Bedeutung.

V. Darstellung des Themas in der Literatur

5.1. Ursachen für Halswirbelsäulenverletzungen

Die Verletzungen der Halswirbelsäule betreffen die Segmente C₀/C₁ bis C₇/TH₁. Ungefähr 80% der Halswirbelsäulenverletzungen sind im unteren Abschnitt - C₂/C₃ bis C₇/TH₁ zu lokalisieren (1, 2, 3, 4, 13, 25).

MEYER (48) hat 1989 herausgefunden, daß nur 27% der HWS-Verletzungen ohne neurologische Ausfälle auftreten. 32% der Verletzungen sind mit kompletten und 41% mit inkompletten oder radikulären neurologischen Defiziten vergesellschaftet.

Nach der Untersuchung von AEBI (1, 4) machen Verletzungen der HWS mit neurologischen Defiziten etwa 55% aller Verletzungen der Wirbelsäule aus. Bei 11% aller Verletzungen mit neurologischen Defiziten sind die osteoligamentären Verletzungen der Wirbelsäule nicht eruiert (25, 49). 34% der Verletzungen betreffen die Thorkolumbale Wirbelsäule. Die HWS-Verletzungen stellen somit das Hauptkontingent der Wirbelsäulenverletzungen mit neurologischen Defiziten dar. Diese Tatsache ergibt sich aus der großen Beweglichkeit der Halswirbelsäule und der Verletzbarkeit des Rückenmarks, das im Vergleich zum ossären Teil einen relativ großen Raum einnimmt.

Die häufigste Ursache der HWS-Verletzungen sind Verkehrs- und Sportunfälle mit über 80% (48).

In der retrospektiven Analyse von 86 operativ versorgten HWS-Verletzungen sind bei AEBI (4) die Verkehrs- und Sportunfälle mit 87% angegeben worden. Bei der ebenfalls retrospektiven Analyse von 100 Patienten wurde von dem gleichen Autor 1984 der Anteil von Verkehrs- und Sportunfällen mit 61% benannt.

5.2. Klassifikation der Halswirbelsäulenverletzungen

Das Ziel der Behandlung jeder Wirbelsäulenverletzung sollte es sein, dem Patienten einen schmerzfreien, beweglichen und leistungsfähigen Nacken ohne neurologische Ausfallerscheinungen zu gewährleisten. Um eine Wirbelverletzung optimal behandeln zu können, ist eine klare Indikationsstellung Voraussetzung. Außerdem sind, um vorgeschlagene Behandlungsmethoden und die damit erreichten Resultate vergleichen zu können, die genaue Erfassung und Klassifikation von vordringlicher Bedeutung (1).

Es gibt eine Vielzahl an Klassifikationssystemen von zahlreichen Autoren, die auf verschiedenen Kriterien basieren, von denen jedoch keines allgemein akzeptiert ist (1). So werden im Folgenden einige von ihnen dargestellt:

Einteilung aufgrund des Unfallmechanismus

WHITLEY und FORSYTH (69) haben eine Einteilung der Verletzungen der oberen und unteren Halswirbelsäule in Flexions-, Extensions- und kombinierte Verletzungen vorgeschlagen. Jede dieser Gruppen wird unterteilt in Verletzungen mit oder ohne axiale Kompression. Bei der Flexion bzw. Extension wird noch zwischen ein- oder beidseitiger Einwirkung unterschieden. 1970 hat HOLDSWORTH (39) in Ergänzung zusätzlich Rotations- und Scherkräfte definiert. ALLEN et al. (6) haben 1982 die Klassifikation von WHITLEY und FORSYTH (39) aufgenommen und erweitert. Sie bestimmen eine zusätzliche kompressive und eine distrahierende Kraftrichtung. Aus dieser Kombination ergeben sich 6 verschiedene Verletzungsgruppen:

1. Kompressions-Flexions-Verletzungen,
2. Vertikale Kompressions-Verletzungen,
3. Distraktions-Flexions-Verletzungen,
4. Kompressions-Extensions-Verletzungen,
5. Distraktions-Extensions-Verletzungen sowie
6. Laterale Flexionsverletzungen.

GEHWEILER et al. (32) haben die Halswirbelsäulenverletzungen entweder in Hyperextensionsverletzungen mit 5 Untergruppen oder in Hyperflexionsverletzungen mit 4 Untergruppen eingeteilt. Die Verletzungen der Halswirbelsäule dürfen nicht als isolierte Einzelbewegungen betrachtet werden. Es gibt keine reine Flexion, Extension, seitliches Biegen oder Rotation. Aus diesem Grund gibt eine Klassifikation von Halswirbelsäulenverletzungen nach o.g. Verletzungsmechanismus keinen Hinweis auf eventuell zu erwartende Verletzungsmuster (54).

Einteilung nach neurologischen Ausfällen

APLEY (8) hat 1970 die Wirbelsäulenverletzungen in Verletzungen mit neurologischen Ausfällen und ohne neurologischen Ausfälle eingeteilt. Ein Großteil der Halswirbelsäulenverletzungen sind von neurologischen Ausfällen begleitet und die Beurteilung der neurologischen Ausfälle ändert nichts an der Notwendigkeit, die Verletzung an der Wirbelsäule zu klassifizieren (1). Die neurologischen Ausfälle bei Wirbelsäulenverletzungen werden nach FRANKEL eingeteilt. Man darf diese aber nicht als vollständige Klassifikation einer osteoligamentären Verletzung, sondern als zusätzlich ergänzende Information zur Wirbelsäulenverletzung betrachten.

A: vollständige motorische, sensible und vegetative Lähmung
B: motorisch komplette, sensibel inkomplette Lähmung
C: motorisch inkomplette Lähmung ohne Funktionswert
D: motorisch inkomplette Lähmung mit Funktionswert
E: rein radikuläre Ausfälle
F: keine Ausfälle

Tabelle 1: Klassifikation der neurologischen Symptomatik nach FRANKEL (modifiziert nach AEBI und NAZARIAN 1987)

Einteilung in stabile und instabile Verletzungen

LOUIS (3) stützte sich 1979 aufgrund anatomischer Besonderheiten der Wirbelsäule auf die Säulentheorie. Die vordere Säule (Wirbelkörper) und die beiden hinteren Säulen (Gelenkfortsätze) sind entsprechend ihrer Verletzungsbeteiligung in einem Punktschema erfaßt. LOUIS und ROY-CAMILLE (3) haben darauf hingewiesen, daß eine Instabilität ligamentär sowie ossär bedingt sein kann. Entsprechend seines Scores hat LOUIS(3) die beobachteten Frakturen in stabil oder instabil eingeteilt. Die Verletzung des Pedikels bzw. des Wirbelbogens wird je mit dem Faktor 0,5 bewertet, die Verletzung der Facettengelenke oder die Zerreißung der Bandscheibe wird ebenfalls mit je 0,5 bewertet. Alle Verletzungen, die die Summe von 2,0 übersteigen, werden von LOUIS(3) als instabil bezeichnet.

Klassifikation nach AEBI und NAZARIAN (1987)

AEBI und NAZARIAN (3) haben aufgrund einer Analyse von über 200 HWS-Verletzungen und in Anlehnung an die AO-Klassifikation eine Klassifikation erarbeitet. Wegen der anatomischen Unterschiede zwischen oberer und unterer HWS folgt auch der Einteilungsmodus notwendig anderen Kriterien.

Die Klassifikation der oberen Halswirbelsäulenverletzungen erfaßt 3 Hauptgruppen:

Typ A = Frakturen des Atlas

Typ B = Frakturen des Axis

Typ C = Kombinierte C₁/C₂- Verletzung

Typ	Gruppe	Untergruppe
A= Fraktur des Atlas	A1: ein Atlasbogen ist gebrochen	A1.1.: hinterer Atlasbogen gebrochen A1.2.: vorderer Atlasbogen gebrochen (1) einfach (2) mit freiem Fragment
	A2.: beide Atlasbögen sind gebrochen	A2.1.: hinterer und vorderer Bogen gebrochen. (<7mm laterale Dislokation) (1) einfache Bruchlinie (2) mehrfragmentär
	A 3: Massae laterales gebrochen	A3.1.: unilaterale Trümmerfraktur A3.2.: bilaterale Trümmerfraktur (1) mit Bogenfraktur kombiniert

<u>Typ B</u> B= Fraktur des Axis	B1: Isthmusfrakturen	B1.1.: ohne oder mit geringer Dislokation (Listhesis von C ₂ <3,5mm nach vorn, Knickung C ₂ /C ₃ <11°; Effendi I) B1.2.: Knickung C ₂ /C ₃ größer als 11°, Listhesis >3,5mm (Effendi II) B1.3.: mit massiver Dislokation (> 50% des Wirbelkörpers; Effendi III)
	B2: Densfrakturen	B2.1.: Fraktur der Densspitze B2.2.: Fraktur in Densbasis, bzw. Körper B2.3 Fraktur im Denshals (1) Dislokation nach vorn (2) Dislokation nach hinten (3) Dislokation nach der Seite oder Rotation
	B3: komplexe Axisverletzungen	B3.1.: Isthmusfraktur + Densbasis- und -körperfraktur B3.2.: Isthmusfraktur + Denshalsfraktur B3.3.: Densfraktur mit Einstauchung + Trümmer im C ₂ -Körper (1) kombiniert mit B1.1 (2) kombiniert mit B1.2 (3) kombiniert mit B1.3

Typ A

Typ	Gruppe	Untergruppe
A= vorderer Anteil betroffen	A1: rein oder vorwiegend ossäre Läsion	A1.1: gleichmäßige Kompression A1.2: Kantenabbruch ohne sichtbare ligamentäre Läsion A1.3: Keilfraktur ohne sichtbare ligamentäre Läsion (Knickung < 7 Grad) 1) vorn 2) lateral
	A2: osteoligamentäre Läsion	A2.1: Wirbelkörperfraktur, mehrfragmentär, eine Deckplatte betroffen (1 Bandscheibe verletzt) A2.2: A2.1 + 2 Bandscheiben betroffen A2.3: Trümmerfraktur, Hinterwand weniger als 3 mm disloziert, hintere Elemente nicht sichtbar verletzt
	A3: rein oder vorwiegend ligamentäre Läsion	A3.1: Zerreißung des vorderen Längsbandes und der Bandscheibe A3.2: traumatische Diskushernie

<p><i>Typ B</i></p> <p>B: hinterer Anteil betroffen</p>	<p>B1: rein oder Vorwiegend ossäre Läsion</p> <p>B2: osteoligamentäre Läsion</p> <p>B3: rein oder vorwiegend ligamentäre Läsion</p>	<p>B1.1: isolierte Fraktur der hinteren Elemente (1) Dornfortsatz (2) Bogen (3) beides B1.2: Fraktur der kleinen Wirbelgelenke ohne Dislokation 1) unilateral 2) bilateral B1.3: Kombination von B1.1 und B1.2 (1) Dornfortsatz (2) Bogen (3) beides</p> <p>B2.1: Fraktur der hinteren Elemente mit Subluxation (1) Dornfortsatz (2) Bogen (3) beides B2.2: Facettenfraktur (Abscherung) +Subluxation der Nachbarfacetten (1) unilateral (2) bilateral B2.3: Ausbruch der Massa articularis (Bruch durch Pedikel und Bogen) (1) unilateral (2) bilateral</p> <p>B3.1: Ruptur hinterer Ligamentkomplex mit Subluxation in Wirbelgelenken (bilateral) B3.2: Ruptur hinterer Ligamentkomplex mit asymmetrischer Subluxation in Wirbel- gelenken (unilateral)</p>
---	---	---

<p>Typ C C: vorderer und hinterer Anteil betroffen</p>	<p>C1: reine oder vorwiegend ossäre Läsion</p>	<p>C1.1: Berstungsfraktur des Wirbelkörpers in Kombination mit Berstungsfraktur der hinteren Elemente (Bogen, Dornfortsatz)</p> <p>C1.2: horizontale Fraktur durch Wirbelkörper mit Berstung der hinteren Elemente (Bogen, Dornfortsatz)</p>
	<p>C2: osteoligamentäre Läsion</p>	<p>C2.1: Luxationsfraktur mit Fraktur in den hinteren Elementen (1) Bogen +/- oder Proc. spinosus (2) Facettenfraktur (3) (1)+ (2) kombiniert</p> <p>C2.2: Keilfraktur des Wirbels + Zerreißung des hinteren Ligamentkomplexes (1) osteoligamentär (2) rein ligamentär</p> <p>C2.3: Wirbelkörperfraktur (Spaltung im vorderen oberen Anteil + hinteres Fragment mit Dislokation größer als 3mm im Spinalkanal - echte tear drop fracture) (1) osteoligamentär (2) rein ligamentär</p>
	<p>C3: reine oder vorwiegend ligamentäre Läsion</p>	<p>C3.1: reine Luxation unilateral verhackt</p> <p>C3.2: reine Luxation bilateral verhackt</p> <p>C3.3: Zerreißung des Diskus und Luxation nach dorsal mit Zerreißung des hinteren Ligamentkomplexes</p>

Klassifikation der Densfrakturen nach ANDERSON und D'ALONZO (1974)

1974 haben ANDERSON und D'ALONZO (7) die Densfrakturen in drei Hauptgruppen eingeteilt. Dabei untersuchten sie 60 Patienten, die im Zeitraum zwischen 1954 und 1972 in der Campbell Klinik behandelt worden waren.

Anhand der Röntgenbilder konnten sie die Densfrakturen nach dem Verlauf der Frakturlinie in 3 Typen einteilen:

TYP I: Fraktur der Densspitze

TYP II: Fraktur der Densbasis (an der Verbindungsstelle zwischen dem Dens und dem 2. Wirbelkörper)

TYP III: Fraktur reicht bis zum Corpus des Axis.

Nach der originären Beschreibung beider Autoren ist die Typ-III-Fraktur eine tatsächliche Fraktur des Corpus axis.

Zusätzlich zu jedem Typ haben sie zwischen Frakturen mit Dislokation und ohne Dislokation unterschieden.

Klassifikation der C₂-Fraktur nach EFFENDI (1982)

Die traumatische Spondylolisthesis C₂, *Hangman's fracture*, wurde von EFFENDI et al.(31) in 3 Typen eingeteilt.

TYP I: stabile, nicht dislozierte Fraktur, Bandscheibe C_{2/3} ist intakt

TYP II: nach ventral dislozierter Wirbelkörper C₂ mit Läsion der Bandscheibe C_{2/3}, instabile Verletzung

TYP III: Typ-II-Verletzung mit zusätzlich einseitig verhackerter Luxation C_{2/3}, nach ventral flektierter Körper

VI. Behandlung der Halswirbelsäulenverletzungen

6.1. Allgemeine Behandlungsprinzipien

Die Behandlung eines wirbelsäulenverletzten Patienten beginnt am Unfallort. Bei Patienten mit geringstem Verdacht einer Wirbelsäulenverletzung sollten unfachgemäße Umlagerungen vermieden werden, da so die Gefahr besteht, daß Patienten, die primär keine neurologischen Ausfälle hatten, durch Manipulation und Lagerung tetraplegisch werden oder daß sich eine inkomplette in eine komplette Läsion verwandelt (1). Für Patienten mit einer Querschnittssymptomatik spielt der Zeitraum zwischen Unfallereignis und Erstbehandlung eine entscheidende Rolle (1, 25, 26). Beim Nachweis einer Subluxation, Luxation,

Fragmentdislokation und einem neurologischen Defizit ist eine rasche Reposition durch axialen Zug außerordentlich wichtig. In über 70% der Fälle kann durch axialen Zug allein eine Reposition und Entlastung des Rückenmarks erreicht werden (1, 17, 30).

BEDBROOK (13) erklärte 1979, daß er durch axialen Zug allein eine Verbesserung der neurologischen Befunde von 10 bis 15% bei komplett tetraplegischen Patienten erreichte. Bei der Untersuchung von AEBI (1) betrug die Verbesserung der neurologischen Befunde 28,5%.

Zum Alignment der Wirbelsäule stehen der Gardner-Wells-Bügel oder der Crutchfield-Extensionsapparat zu Verfügung, die sofort angelegt werden können, sobald eine Wirbelsäulenverletzung gesichert ist.

Zur Technik des Anlegens des Gardner-Wells-Bügels

Die Bügel können genau 2 bis 3 Querfinger über dem Zentrum des äußeren Gehörganges nach dem Setzen einer Lokalanästhesie ohne Stichinzision der Haut eingedreht werden. Mit einem Gewicht von 5 kg ist die Wirbelsäule vorerst provisorisch genügend stabilisiert. Die Wirkung des Zuges sollte unter dem Bildwandler kontrolliert werden, um eine Übertraktion zu vermeiden. MEYER (49) hat 1989 vorgeschlagen, als Anhaltspunkt für die Traktion 2 bis 3 kg pro Verletzungsniveau zu rechnen (z.B. Niveau C₆: 2-3 x 6 kg = 12-18 kg).

Beim Längszug am Bügel bleibt der Patient wach, um eine eventuelle neurologische Verschlechterung rechtzeitig erfassen zu können.

6.2. Operative Stabilisierung der Halswirbelsäulenverletzungen

Behandlungsziel instabiler Wirbelverletzungen ist die anatomiegerechte Reposition anfälliger Fehlstellungen mit Dekompression bei Einengung des Rückenmarks oder der Nervenwurzeln, stabile innere Fixation, schmerzfreie Wiederherstellung und die Wiederherstellung einer funktionsgerechten Stabilität.

Im folgenden werden Indikationen für die operative Behandlung der Halswirbelsäulenverletzungen, bei denen eine absolute Operationsindikation gestellt wird (2), benannt:

- inkomplettes Querschnittssyndrom mit nachgewiesener Kompression durch Knochenfragmente oder Haematom,
- plötzliche Verschlechterung eines neurologischen Zustandbildes durch mechanische Kompressions des Rückenmarks,
- offene Wirbelsäulenverletzungen,
- manifeste, die Neurostrukturen bedrohende Instabilitäten, die auf konservative Weise nicht beeinflußt und aufgehoben werden können.

Alle anderen Zustandsbilder sind relative Indikationen für Operationen.

6.2.1. Operative Stabilisierung der instabilen HWS-Verletzungen

Die instabilen Halswirbelsäulenverletzungen können nach der Art der Verletzung und Lokalisation durch ein vorderes, hinteres oder kombiniertes Vorgehen stabilisiert werden. Verletzungen, die vorwiegend den vorderen Teil der Wirbelsäule, d.h. Bandscheibe, Wirbelkörper und kleine Wirbelgelenke betreffen, sollten von vorn operiert werden (1). Diese Verletzungen beinhalten Kompressionsfrakturen, Flexionsfrakturen, Berstungsfrakturen des Wirbelkörpers und Rupturen der Bandscheibe und des vorderen Längsbandes. Für die Stabilisierung des Dens empfahl JÜRGEN BÖHLER 1982 (15) ebenfalls den ventralen Zugang. Nach BAILY (11), J. BÖHLER (17) und BOHLMAN (24) erfolgt die Dekompression des Rückenmarks nur von ventral.

Verletzungen, die vorwiegend das hintere Zuggurtungssystem betreffen, d.h. eine Zerreißung des hinteren Ligamentkomplexes und Frakturen der Wirbelbögen, sollten nach ROY-CAMILLE (2) von hinten operiert werden. AEBI (1, 4) beschrieb, daß auch Verletzungen des hinteren Ligamentkomplexes und der hinteren Elemente durchaus von ventral angegangen werden können. Die Indikation für den dorsalen Zugang nach AEBI (1, 2) sind verhakte uni- oder bilaterale Luxationen und Verletzungen, die den hinteren Ligamentkomplex betreffen. Dazu gehören Ruptur der Ligg. supra- und interspinatus, Kapselruptur des kleinen Wirbelgelenkes, Ruptur des Lig. flavum und die klassische einfache tear-drop-fracture.

McAFEE (47) und LOUIS et al. (44) empfahlen eine kombinierte Stabilisierung bei Verletzungen, die mit einer zirkumferenziellen Zerstörung einhergehen. Komplexe vordere und hintere Instabilitäten verlangen eine kombinierte antero-posteriore Stabilisierung. Durch mechanische Versuche haben ULRICH et al. (67) nachgewiesen, daß dadurch die größtmögliche Stabilität einer Spondylodese erreicht werden kann.

6.2.1.1. Die ventrale interkorporelle Spondylodese

Lagerung des Patienten und Zugang zur Halswirbelsäule

Der Patient wird in Rückenlage mit einem harten Polster unter den Schultern gelagert, so daß der Kopf in Extension und leicht zur Gegenseite positioniert ist. Der Längszug kann entweder über den Gardner-Wells-Bügel oder über einen Haloring am Kopf auf die Halswirbelsäule übertragen werden. Die Arme liegen dem Körper parallel an. Für die Spondylodese der unteren Halswirbelsäule wird ein Bildverstärker in lateraler Projektionsrichtung während der ganzen Operation zur Überwachung der Penetrationstiefe der Instrumente und Schrauben in den Wirbelkörper und zur Höhenlokalisation benutzt (4). Bei der Technik der direkten Densverschraubung erfordert das sichere Einbringen der Schrauben eine intraoperative Röntgenkontrolle mit zwei Bildverstärkern (35). Der Zugang erfolgt von rechts für den Rechts- und von links für den Linkshänder (1). Für Eingriffe oberhalb C7 wird der rechtsseitige Zugang verwendet, während tiefer liegende Segmente leichter von links erreicht werden (1). Der Zugang zur Halswirbelsäule erfolgt über einen queren Hautschnitt, welcher von der Mittellinie des Halses bis knapp über den medialen Rand des M. sternocleidomastoideus reicht. Nach Durchtrennen des Platysmas gelangt man teils scharf, teils stumpf im Spatium zwischen M. sternocleidomastoideus sowie dem Gefäßnervenbündel lateralseitig und der Trachea, Thyroidea und Ösophagus medianseitig auf die Vorderfläche der Halswirbelsäule, wo die prävertebrale Faszie längs durchtrennt wird, um auf das Ligamentum longitudinale anterius zu gelangen. Der M. longus colli kann von der Vorderfläche der Halswirbelsäule mit dem Elektromesser und dem Raspatorium abgelöst werden.

Das vordere Längsband wird über dem frakturierten Wirbel bzw. den angrenzenden Bandscheiben längs geöffnet und anschließend mit dem Raspatorium nach beiden Seiten hin subperiostal mobilisiert. Ein zu weites Abpräparieren bis über Proc. uncinati muß zur Schonung des Grenzstranges (Horner-Syndrom !) und der Aa. vertebrales unterbleiben (38).

6.2.1.2. Technik der direkten Densverschraubung nach MAGERL und BÖHLER

Die Lagerung der Patienten erfolgt wie bereits oben beschrieben.

Von einem queren Kragenschnitt am Übergang vom mittleren zum unteren Drittel des medialen Randes des M. sternocleidomastoideus wird zwischen dem Gefäßbündel und den Halseingeweiden auf das vordere Längsband eingegangen. Durch stumpfes Abschieben der Weichteile in cranialer Richtung gelangt man auf dem Lig. longitudinale anterius an die Densbasis, deren Lage mit den Bildwandlern verifiziert wird. Von der palpablen ventralen Unterkante von C₂ ausgehend wird ein Kirschner-Draht paramedian in Richtung Densspitze gebohrt und damit das Fragment temporär stabilisiert. Symmetrisch dazu, ebenfalls paramedian

wird die erste Zugschraube gelegt, wodurch die Fraktur unter Kompression gesetzt wird. Nach dem Entfernen des Kirschner-Drahtes wird analog zum ersten Schraubenloch eine zweite Zugschraube platziert. Damit ist die Rotationsstabilität des Fragments gesichert.

6.2.1.3. Technik der ventralen Spondylodese der unteren Halswirbelsäule nach SMITH und ROBINSON

Nach der oben dargestellten Lagerung und dem Zugang kann der Bandscheibenraum nun mit feinen Küretten bzw. dem Rongeur schrittweise ausgeräumt werden. Das Verlagern von Bandscheibengewebe in Richtung des Spinalkanals wird vermieden. Die Ausräumung erfolgt bis auf das hintere Längsband, wobei das Aufspreizen des Zwischenwirbelraumes mit Distraktoren nach CLOWARD erfolgt.

Deck- und Grundplatte der benachbarten Wirbel werden mit dem scharfen Löffel sorgfältig entknorpelt und mit einer Fräse oder einem feinen Meißel vorsichtig angerauht. Die Dimensionen des so ausgeräumten und distrahierten Bandscheibenraumes werden gemessen. Vom gleichseitigen Darmbeinkamm wird ein etwa hufeisenförmiger Knochenspan aus der gesamten Dicke der crista iliaca entnommen. Dieser Span sollte 1-2mm höher als das Spanlager und etwa 3 mm kürzer als die gemessene Wirbeltiefe sein. Dieser Span kann nach endgültiger Anpassung so eingebracht werden, daß die schwächeren Kortikalisschichten seitlich zu liegen kommen. Der Span wird 1mm hinter die Wirbelvorderkante eingeschlagen, um eine günstige Einklemmung zu erreichen. Nach Entfernung der Spreizer besteht eine gute Stabilität, die Wirbeldistanz ist vergrößert und die Foramina sind erweitert.

Der Vorteil dieser Technik ist die geringe Traumatisierung vor allem des Rückenmarkes und die schnelle, technisch einfache Stabilisierung.

Nachteilig ist, daß dislozierte Sequester im Spinalkanal wegen des engen Zuganges übersehen werden können und daß dorsale Osteophyten nicht ohne weiteres abzutragen sind.

6.2.1.4. Technik der ventralen Spondylodese (nach CLOWARD)

Bei gleichem Zugang werden zuerst die ventralen Osteophyten bis zum Erreichen einer absolut flachen Vorderkante der benachbarten Wirbelkörper sorgfältig entfernt. Dies ist die Voraussetzung für das Funktionieren des Bohranschlages, der ein Vordringen des 10-12 mm starken Bohrers in gewünschter Tiefe limitiert. Der Bandscheibenraum wird mit Kürette und Rongeur unter leichter Spreizung ausgeräumt. Mit dem Bohrgerät werden annähernd gleiche Anteile der benachbarten Deck- und Grundplatte ausgebohrt. Die Bohrung wird schrittweise unter mehrfachem Wechsel des Bohranschlages in die Tiefe gebracht. Die Bohrung wird bei Erreichen der Wirbelhinterwand beendet.

Soll nur die Dekompression einer Protusion erfolgen, können Hinterwand und Längsband erhalten bleiben. Sollen dagegen Randosteophyten oder Sequester entfernt werden, wird die Hinterwand mit einem Moberg-Häkchen gefaßt, angehoben und mit einer Kürette oder ganz feinen Wirbelstanze schrittweise entfernt.

Zur Dekompression wird das Bohrloch mit einem Spreizer erweitert. Nach der Originaltechnik von CLOWARD wird ein runder (zylinderischer), etwa 15 mm größerer Knochendübel aus dem Os Ilium mit einer Hohlfräse entnommen. Dieser runde Knochendübel mit zwei kortikalen Begrenzungen sollte 2-4 mm kürzer als die Tiefe des Bohrloches sein. Er wird nun mit vertikal stehender Kortikalis so eingebolzt, daß er 1 mm hinter der Wirbelvorderkante liegt. Nach dem Lösen des Spreizers ist er fest eingeklemmt.

Für einen günstigeren Flächenkontakt empfiehlt es sich, das runde Bohrloch mit Stanze und Fräse zu einem Rechteck zu erweitern und rechteckige Beckenspäne mit vertikal stehenden Kortikalisflächen einzubolzen (38).

Der Vorteil der Cloward-Technik besteht in der ausgiebigeren Dekompression des Rückenmarkes und der Wurzelabgänge und der Möglichkeit, diese Dekompression auch auf mehrere Segmente auszudehnen.

Nachteile stellen die größere Gefährdung der vorderen Rückenmarksabschnitte bei unvorsichtigem Operieren, einer Redislokation und Angulation (kyphotische Deformierung) vor allem bei Zerreißen des hinteren Ligamentkomplexes dar (41, 61).

Um das Herausfallen des Spanes zu verhindern und den Span unter optimale Kompression bringen zu können, die Primärstabilität zu verbessern und eine frühzeitige Mobilisation ohne äußere Fixation zu ermöglichen, wird nach der Späneinlage eine innere Fixation mit einer ventralen Platte durchgeführt (21). Die zusätzliche Stabilisierung der betroffenen Halswirbelkörper mit einer Platte wurde erstmals von BÖHLER (16) und TSCHERNE 1971 (66) angegeben.

Heute stehen verschiedene Plattensysteme zu Verfügung, von denen hier einige benannt werden sollen.

1. AO-OROZCO-Platte:

Diese sogenannte H-Platte ist die seit längstem bekannte, in größerem Umfang verwendete Platte. Sie ist leicht biegsam und wird mit 3,5-mm Kortikalis-AO-Schrauben im Wirbelkörper verankert. Um ein Herausdrehen bzw. eine Lockerung zu vermeiden, wird die Perforation der Wirbelkörperhinterwand empfohlen.

2. CASPER-Plattensystem:

Die Schraubenverankerung erfolgt ebenfalls mit der Perforation der Wirbelkörperhinterwand. Anstelle der runden finden sich hier längsovale Schraubenlöcher, so daß die Schraubenverankerung in den Knochen an beliebiger Stelle der Platte durchgeführt werden kann. Im Vergleich zur Orozco-Platte ist jedoch die axiale Kompression nur bedingt möglich.

3. HWS-Verriegelungs-Platte (Titanium- hollow-locking-screw-system) nach MORSCHER:

Das Ziel für die Entwicklung dieses Systems ist die Verankerung der Schrauben im Knochen ohne Perforation der Hinterwand und die Konstruktion einer winkelstabilen Verbindung zwischen Platte und Schrauben.

Die Schrauben sind in der Titanplatte winkelstabil und konvergierend geführt, und werden mit einer im Schraubenkopf gelegenen Verriegelungsschraube durch einen Spreizkonus in der Platte verblockt. So wird Lockerung der Schraube verhindert und die Primärstabilität erhöht (50). Die Titanschrauben sind als perforierte Hohlschrauben ausgeführt und mit einer rauhen Titanplasmabeschichtung versehen. Letztgenannte fördert ein rascheres knöchernes An- und Einwachsen (50). Die Sekundärstabilität ist somit wesentlich erhöht (50).

Insgesamt wird die Wirksamkeit der Winkelstabilität an der Halswirbelsäule jedoch kontrovers diskutiert.

Die Vorteile des Verriegelungssystems (63) sind in folgenden Punkten zu suchen:

- dem risikofreien Instrumentieren, da die Notwendigkeit einer Penetration der dorsalen Kortikalis nicht möglich ist,
- der einheitlichen Schraubenlänge von 14 mm,
- der günstigeren Voraussetzung für eine ossäre Fusion aufgrund hoher Primärstabilität sowie
- der möglichen Nachkontrolle mittels MRT-Technik durch die Fertigung der Platte aus Reintitan.

Der Nachteil des hier beschriebenen Verriegelungssystems liegt in der fest definierten Schraubenrichtung im Verhältnis zur Platte, die somit nicht beliebig geändert werden kann.

VII. Segmentveränderungen der Halswirbelsäule nach zervikaler Spondylodese

7.1. Funktionelle Veränderungen

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). Das Verhalten der nicht spondylodesierten Halswirbel konnte mittels einer von PENNING (53) entwickelten Technik gemessen werden. Das Prinzip dieser Meßtechnik besteht darin, daß Halswirbelfunktionsaufnahmen auf Röntgenbildern übereinandergelegt und jeweils identische Wirbel zur Deckung gebracht werden. Für jeden Wirbel wird eine Kante des oberen Films als Lineal benutzt, um damit eine Linie auf den unteren Film zu ziehen. Entsprechend der Kippung benachbarter Wirbel zwischen Flexion und Extension bilden die Linien Winkel, die der Beweglichkeit benachbarter Wirbel entsprechen.

M. MESTDAGH (48) 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 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 M. ARAND, W. MUTSCHLER und Ch. ULRICH (9) 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 M. MESTDAGH (48). In den Untersuchungen von MÄHRING (46) 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.

7.2. Radiologische Veränderungen

Durch die Röntgenuntersuchungen wird die Frage beantwortet, ob als Folge der veränderten mechanischen Verhältnisse radiologisch-morphologische Veränderungen an den einer Spondylodese benachbarten oder nicht benachbarten Segmenten eingetreten sind.

MÄHRING (46) untersuchte bei 45 Patienten mit Einsegmentspondylodese 80 benachbarte Bewegungssegmente (45 kranial und 35 kaudal) und 118 nicht benachbarte Bewegungssegmente.

35 benachbarte Bewegungssegmente (43,8%) zeigten radiologische Veränderungen, hingegen traten nur 5 Fälle (4,7%) bei den nicht benachbarten Segmenten auf. Nasenförmige Osteophyten konnten bei 12 benachbarten Segmenten festgestellt werden. 8 spangenförmige Osteophyten verteilen sich zu gleichen Teilen auf beide Nachbarsegmente. 6 benachbarte Segmente wiesen unveränderte Osteochondrosen auf. In 5 benachbarten Segmenten konnten ausgeprägte Osteochondrosen festgestellt werden, die MÄHRING (46) als Folge der primär nicht erkannten Verletzungen einstufte.

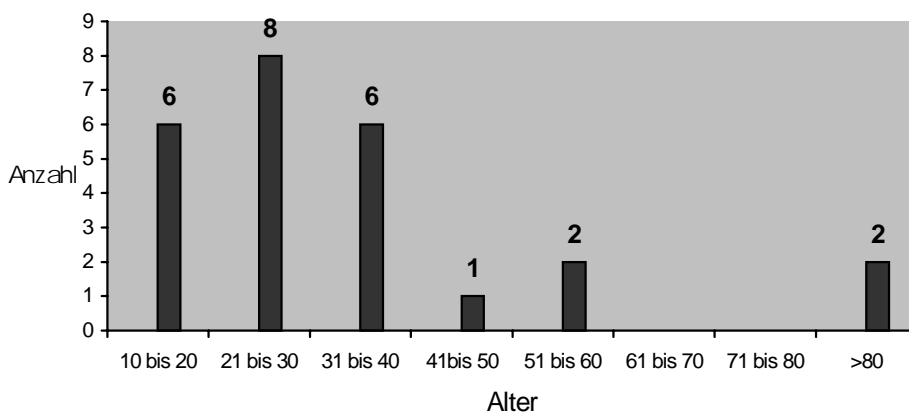
Bei 96 radiologisch nachkontrollierten Patienten bei MESTDAGH (48) kam es zu arthrotischen Veränderungen nach einer Spondylodese von 15 benachbarten Segmenten (11 kaudal und 4 kranial). Bei 6 Patienten verschlechterte sich die vorbestehende Arthrose.

VIII. Eigenuntersuchung

8.1. Patientengut und Methodik

8.1.1. Häufigkeitsverteilung nach Alter und Geschlecht der Patienten

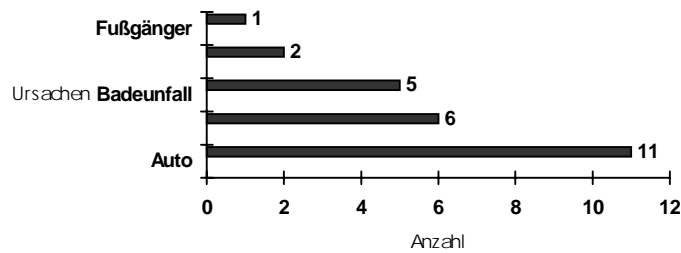
In dem Zeitraum zwischen Juli 1991 und Januar 1996 wurden an der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie der Martin-Luther-Universität Halle insgesamt 25 Patienten mit Halswirbelsäulenverletzung operativ versorgt. Von den Patienten waren 5 (= 20%) Frauen und 20 (=80%) Männer. Das mittlere Alter betrug zum Zeitpunkt der Operationen 33,2 Jahre. Der jüngste Patient war 13 Jahre, der älteste 82 Jahre alt.



Graphik 1: Altersverteilung der operierten Patienten

8.1.2. Ursachen der Verletzungen

Die Mehrheit der Patienten zog sich die Verletzungen bei einem Autounfall zu. 11 Patienten (44%) waren mit PKW entweder als Fahrer oder Beifahrer verunglückt. Bei 6 Patienten (24%) hatten Stürze aus der Höhe (z.B. Treppensturz oder Sturz vom Baum) zur Verletzung geführt. Als weitere Verletzungsursachen konnten Sprünge in flaches Gewässer (Badeunfall) bei 5 Patienten (20%) und Radunfälle bei zwei Patienten (8%) konstatiert werden. Eine 13jährige Patientin (4%) ist als Fußgängerin von einer Straßenbahn erfaßt worden. So ist der Verkehrsunfall mit 56% die häufigste Ursache für die in dieser Studie analysierten Halswirbelsäulenverletzungen.



Graphik 2: Häufigkeitsverteilung der Patienten nach Unfallursachen

8.1.3. Diagnosen

Bei 10 Patienten (40%) wurde die Diagnose einer Luxationsfraktur gestellt. Bei 2 Patienten (8%) handelte es sich um eine reine Luxation ohne Frakturzeichen. Bei 13 Patienten (52%) stellte man eine Fraktur ohne Luxation fest, wobei hier insgesamt 16 Wirbelkörper betroffen waren (bei 3 Patienten lag die Verletzung zweier Wirbelkörper vor). Hier hatte ein Patient eine Pincer-Fraktur des 7. Wirbelkörpers (C1.2) mit gleichzeitiger Tear-drop-fracture des 6. Wirbelkörpers (C2.3). Bei dem anderen Patient wurde eine Dornfortsatzfraktur des 3. HWK (B1.2) und eine Spaltbruch des 4. HWK (C1.2) festgestellt.

Eine Dornfortsatzfraktur des 3. HWK (B1.1) in Kombination mit einer Hanged-man-fracture (B1.2) wurde bei einem weiteren Patienten diagnostiziert. 4 Patienten (16%) hatten Densfrakturen. Bei den übrigen 6 handelte es sich um Kompressions- bzw. Berstungsfrakturen. Die Segmentverteilung der Luxationsfrakturen zeigt eine deutliche Überfrequentierung der unteren Halswirbelsäule. In 5 von 10 Fällen verletzter Segmente (50%) war das Segment C₅/C₆ betroffen. Das Segment C₄/C₅ trat mit 4 Fällen (40%) am zweithäufigsten auf. Eine Verletzung des Segmentes C₆/C₇ war bei einem Patienten festzustellen.

	C ₂ /C ₃	C ₃ /C ₄	C ₄ /C ₅	C ₅ /C ₆	C ₆ /C ₇	C ₇ /TH ₁	Gesamt n
Luxation			1			1	2
Luxations- Fraktur			4	5	1		10
Insgesamt			5	5	1	1	12

Tabelle 2: Verteilung der verletzten Segmente bei Luxation und Luxationsfrakturen

Fraktur	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	Gesamt
Kompression			1	2	2	1	1	7

Teardrop						1		1
Dens		4						4
Hangman		1						1
Pincer							1	1
Andere			2					2*
Insgesamt		5	3	2	2	2	2	16

Tabelle 3: Verteilung der betroffenen Wirbelkörper auf die Frakturen.

* in Kombination mit einer Hanged-man-fracture und einem Spaltbruch des HWK 4 aufgetretene Dornfortsatzfraktur des HWK 3

Die am häufigsten auftretende Fraktur der Halswirbelsäule konnte bei den Segmenten C₅/C₆ und C₄/C₅ festgestellt werden.

8.1.4. Klassifikation der Verletzungen

Hier wurde von uns der Versuch unternommen, anhand der Röntgenaufnahmen, der Computertomographien und der Operationsbefunde die Verletzungen nach dem Einteilungsschema von AEBI und NAZARIAN zu klassifizieren.

Klassifikation der Densfrakturen

	Anderson	Aebi und Nazarian*
Typ/Gruppe	II	B2.2
Anzahl	4	4
Gesamt	4	4

Tabelle 4: Klassifikation der Densfrakturen(* entspricht der Klassifikation nach Anderson)

Klassifikation der Isthmusfraktur bzw. Hanged-man-fracture

	Effendi	Aebi u. Nazarian*
Typ/Gruppe	II	B1.2
Anzahl	1	1
Gesamt	1	1

Tabelle 5: Klassifikation der Isthmusfraktur(* entspricht der Effendi-Klassifikation)

Klassifikation der reinen Luxationen

Segment : Diagnose	Gruppe
C ₄ /C ₅ : einseitige Luxation	B3.2
C ₇ /T _{H1} : Luxation mit kompletter Bandscheibenzerreißung	C3.3

Tabelle 6: Lokalisation und Klassifikation der Luxation

Klassifikation der Frakturen ohne Luxation

Wirbelkörper	C3	C3	C3	C4	C4	C5	C5	C6	C6	C7	C7
Gruppe	B1.1	B1.1	C1.1	C1.2	C1.1	C1.1	C1.1	C1.1	C2.3	C1.1	C1.2

Tabelle 7: Klassifikation der Frakturen ohne Luxation

Klassifikation der Luxationsfrakturen nach Aebi und Nazarian

Segment : Diagnose	Gruppe
C ₄ /C ₅ : Subluxation mit Fraktur der 5 Wirbelkörper (Vorderkanten), diskoligamentäre Instabilität	A2.1
C ₄ /C ₅ : Längsfraktur des 5. HWK und gleichzeitiger Teardropfracture, Subluxation	C2.3.1
C ₄ /C ₅ : Luxationsfraktur des Wirbelkörpers, des Bogens und Querfortsatzes	C2.1.1
C ₅ /C ₆ : Luxationsfraktur des Querfortsatzes C6	C2.1.1
C ₅ /C ₆ : Unilaterale Fraktur des Bogens mit diskreter Luxation	B2.1.2
C ₅ /C ₆ : Subluxation mit Fraktur der Gelenkfortsätze	B2.3.2
C ₅ /C ₆ : Linkslaterale Luxation mit Fraktur der Bogenwurzel	B.2.1.2
C ₅ /C ₆ : Luxationsfraktur C5 mit vollständiger Zerreißung der Bandscheibe	A2.1
C ₆ /C ₇ : Luxation, Trümmerfraktur C6 und komplette Bandscheibenzerreißung	A2.2

Tabelle 8: Klassifikation der Luxationsfrakturen nach AEBI und NAZARIAN

8.1.5. Neurologischer Status

Die neurologischen Ausfälle stellen für viele der Patienten mit einem Halswirbelsäulentrauma eine erhebliche Beeinträchtigung für deren Lebensqualität dar. Dabei wird differenziert zwischen sensiblen und motorischen Ausfällen.

Nach dem Unfall bzw. vor der Operation hatten 7 Patienten eine medulläre Symptomatik. Betrachtet man die Subgruppe der medullären Symptomatik, so hatten 3 Patienten komplette motorische und sensible Ausfälle (FRANKEL A), 2 Patienten komplette motorische und inkomplette sensible Ausfälle (FRANKEL B) und 2 Patienten inkomplette motorische und sensible Ausfälle (FRANKEL C), wobei ein Patient der Gruppe C eine Querschnittsunterbrechung des Rückenmarks vom Typ Brown-Séquard-Syndrom hatte.

3 Patienten zeigten eine radikuläre Symptomatik mit entsprechenden Dermatomen.

Frankel-Score	A	B	C	D	E	F
Anzahl	3	2	2		3	15

Tabelle 9: Anzahl der Patienten mit neurologischen Ausfällen klassifiziert nach FRANKELs Score

8.1.6. Zusatzverletzungen

11 Patienten von insgesamt 25 Patienten zogen sich bei ihrem Unfall außer der Verletzung der Halswirbelsäule noch zusätzliche Verletzungen zu. Am häufigsten betroffen waren die Extremitäten, die sich bei 6 Patienten als zusätzlich frakturiert erwiesen. Dabei handelte es sich in drei Fällen um eine distale Radiusfraktur, einmal um eine laterale Claviculafraktur. Ein Patient hatte sich eine Oberarmschaftfraktur und ein Schädel-Hirn-Trauma II.-III. Grad zugezogen. Bei einem anderen Patienten wurde eine perilunäre Luxation und ein Schädelhirntrauma I. Grades als assoziierte Verletzung zum Halswirbelsäuletrauma festgestellt. Unterkieferfrakturen fand man bei 2 Patienten. Thoraxkontusion und stumpfes Bauchtrauma ließen sich ebenfalls bei 2 Patienten nachweisen. Eine Patientin hatte zusätzlich zur Thoraxkontusion eine Tibiakopffraktur. Ein Patient hatte sich eine Schädelkalottenfraktur zugezogen.

8.2. Therapie

8.2.1. Präoperative Maßnahmen

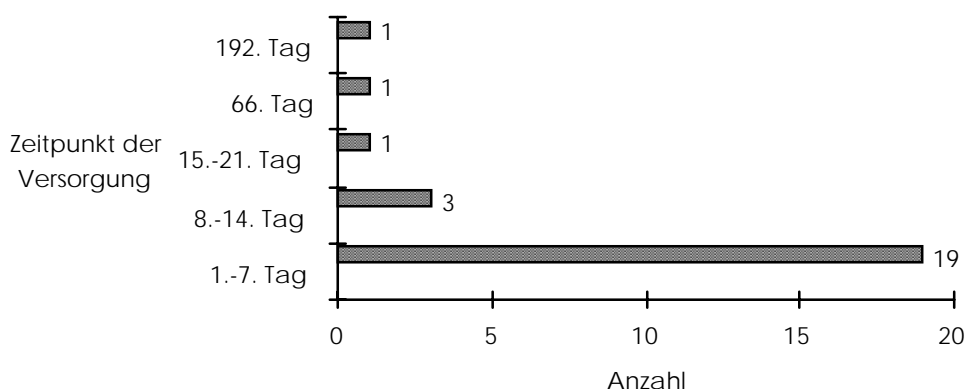
Alle Patienten, die mit Verdacht auf eine Verletzung der Halswirbelsäule in die unfallchirurgische Klinik der MLU eingeliefert worden waren, wurden zunächst einer gründlichen klinischen und neurologischen Untersuchung unterzogen. Anschließend wurden Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule in 2 Ebenen sowie Densaufnahmen angefertigt, die unter Umständen durch

zusätzliche Spezialaufnahmen (Funktions-, Schrägaufnahmen und konventionelle Schichtaufnahmen sowie Computertomographie) ergänzt wurden. Lag eine Luxation oder Luxationsfraktur vor, so wurde versucht, diese geschlossen zu reponieren, um möglichst frühzeitig eine Entlastung des Rückenmarkes bzw. der Wurzelkompressionen zu erreichen. Diese Maßnahme wurde nicht notfallmäßig bei den Patienten durchgeführt, die von anderen Kliniken in die unfallchirurgische Klinik der MLU verlegt worden und teilweise schon diagnostiziert und anbehandelt waren. Dies war bei 7 Patienten der Fall, wobei ein Patient im Ausland (Ungarn) verunglückte. Bei 15 Patienten erfolgte die geschlossene Reposition innerhalb von 24 Stunden über einen Gardner-Wells-Bügel oder eine Crutchfield-Extension. Diese wurde in der Regel bis zur Operation belassen und erst nach erfolgter Operation entfernt. 2 Patienten erhielten primär präoperativ einen Minerva-Gips, der jedoch später durch eine Crutchfield-Extension ausgetauscht wurde. Ein Patient, der aus einem peripheren Krankenhaus in unsere Einrichtung verlegt worden war, trug vor der Operation einen Halo-Fixateur. Ein anderer Patient mit einer Schrägfraktur des Dens wurde vor der Verlegung in unserer Einrichtung für insgesamt sechs Wochen mit einem Diadem-Gips behandelt.

8.2.2. Operationszeitpunkt

Die durchschnittliche Zeitspanne zwischen Unfall und Operation betrug 15 Tage, der maximale Zeitraum reichte über 192 Tage, der minimale Zeitraum über einen Tag. Bei 19 Patienten (76%) wurde der Eingriff innerhalb von einem Tag bis zu einer Woche nach dem Unfall vorgenommen, bei 3 Patienten (12%) innerhalb der zweiten Woche.

Ein Patient (4%) wurde in der dritten Woche operiert. Bei 2 Patienten (8%) lag die Zeitspanne zwischen 66 und 192 Tage, weil primär der Versuch unternommen worden war, die Verletzungen konservativ zu behandeln.



Graphik 3: Häufigkeitsverteilung der Zeitspanne zwischen Unfall und Operation

8.2.3. Durchgeführte Operationen

Alle Patienten, die in dieser Studie untersucht wurden, sind vom ventralen Zugang aus operiert worden.

Durchgeführte Operation bei Patienten mit Verletzung des 2. Wirbels

Insgesamt wurden 5 Patienten (20%) mit Verletzung des 2. Halswirbels operiert. Dabei sind 4 (16%) Densfrakturen durch direkte Verschraubung von ventral nach BÖHLER und MAGERL (15) stabilisiert worden. Bei einem Patienten (4%) mit einer Hanged-man-fracture vom Typ EFFENDI-II wurde eine ventrale Spondylodese zwischen C₂ und C₃ mit autologem tricorticalen Knochenspan aus dem Beckenkamm und mit einer H-Platte nach Orozco durchgeführt.

Durchgeführte Operationen bei Patienten mit Verletzungen der unteren Halswirbelsäule (von C₃-C₇)

Insgesamt wurden bei den 21 Patienten, einschließlich dem mit der Hanged-man fracture, 30 Segmente mit einer ventralen Spondylodese versorgt. Eine monosegmentale Spondylodese wurde bei 13 Verletzten durchgeführt. Bei 7 Patienten verblockte man 2 Segmente gleichzeitig (bisegmentale Spondylodese). Dabei handelt es sich um Eingriffe, bei denen vorher, aufgrund der starken Zerstörung des Wirbelkörpers eine Korporektomie durchgeführt worden war. Bei einem Patienten wurden 3 Segmente von C₅ bis TH₁ spondylodesiert. Auch hierbei ging eine Korporektomie des 7. Wirbels voraus.

Betrachten wir die ventral monosegmental spondylodesierten Segmente von C₂ bis C₇ im Einzelnen, so war das Segment C₅/C₆ am häufigsten verblockt. Es wurde in 5 Fällen so fusioniert.

	monosegmental	bisegmental	trisegmental
Anzahl	13	7	1

Tabelle 10: Häufigkeitsverteilung nach Segmentbeteiligung

	C ₂ /C ₃	C ₃ /C ₄	C ₄ /C ₅	C ₅ /C ₆	C ₆ /C ₇	C ₇ /TH ₁	Gesamt
Anzahl	1	2	4	5		1	13

Tabelle 11: Anzahl und Lokalisation der ventralen monosegmentalen Spondylodese bezogen auf einzelne Segmente

	C ₂ -C ₄	C ₄ -C ₆	C ₅ -C ₇	C ₆ -TH ₁	Gesamt
Anzahl	1	3	2	1	7

Tabelle 12: Anzahl und Lokalisation der ventralen bisegmentalen Spondylodesen

8.3. Fusionsmaterialien

Zur Stabilisierung der verletzten Segmente wurden trikorticale Knochenspäne, Spongiosaschrauben und das Plattensystem nach OROZCO verwendet. Der als Spondylodesematerial benutzte Knochenspan wurde aus dem rechten Beckenkamm der Patienten entnommen. Bei unseren Patienten kamen allogene Knochenspäne oder andere synthetische Materialien (z.B. Knochenzement, Keramik) nicht zur Anwendung. Die Densfrakturen wurden mit 32-38 mm langen Spongiosaschrauben stabilisiert. Als zusätzliche Sicherung und um den eingebolzten Knochenspan vor nachträglicher Luxation oder Redisllokation zu schützen, kamen dreizehnmal eine H-Platte, siebenmal eine Doppel-H-Platte und einmal eine 5-Loch-H-Platte nach OROZCO zum Einsatz. Die anderen Plattensysteme, die auf Seite 32 dargestellt sind, kamen nicht zur Anwendung.

8.4. Komplikationen

8.4.1. Intraoperative Komplikationen

Die Eingriffe verliefen bei allen Patienten komplikationslos. In der Literatur beschriebene Komplikationen auf chirurgischer Ebene, wie z.B. Blutungen durch Verletzung der A. carotis oder in anästhesiologischer Dimension wurden in der hier untersuchten Population nicht beobachtet.

8.4.2. Postoperative Komplikationen

Auffallend war jedoch die Streuung der postoperativen Komplikationen. Bei 10 Patienten traten Komplikationen auf, die sowohl in direkter Verbindung zur Operation stehen, als auch solche, die primär nicht auf die verletzte oder operierte Wirbelsäule zurückzuführen waren.

Die am häufigsten aufgetretenen Probleme waren pulmonaler Art und Recurrens-Irritationen. 4 Patienten litten in der postoperativen Phase unter einer Ateminsuffizienz, die durch Pneumonie und Atelektasebildung hervorgerufen worden waren. Bei einem Patienten ging die pulmonale Komplikation mit einem Harnwegsinfekt einher. Bei einem Patienten endete diese Schwierigkeit im Exitus letalis. In 3 Fällen handelte es sich um Patienten, bei denen nach dem Unfall eine

komplette motorische und sensible Lähmung diagnostiziert worden war. Bei einem anderen Patienten handelte es sich um einen 84jährigen mit einer einseitigen Luxation in Höhe C₄/C₅.

3 Patienten klagten zwei Tage nach der Operation über Heiserkeit, welche durch eine einseitige Recurrens-Irritation verursacht wurde. Ein passageres Horner-Syndrom mußte bei einem Patienten mit einer Kompressionsfraktur des HWK-4 festgestellt werden.

Bei einem Operierten (ventrale Spondylodese C₂-C₄ nach einer Kompressionsfraktur des HWK-3) kam es postoperativ zu einer revisionsbedürftigen Wundinfektion im Bereich der Operationsnarben (Hals, Handgelenk und Beckenkamm), die zur septischen Plattenlockerung führte. Die Ursache für die Infektion war eine generalisierte haematogene Streuung von Streptokokken, deren Herd eine eitrige Angina war. Eine Fragmentredislokation trat einmal nach einer Densverschraubung auf.

Komplikationen	Anzahl	%
Pneumonie, Atelektase, Ateminsuffizienz	4	16
Passageres Horner-Syndrom	1	4
Fragmentredislokation	1	4
Recurrens Irritation	3	12
Infektion u Plattenlockerung	1	4

Tabelle 13: Klassifikation der Patienten nach verschiedenen Komplikationen in absoluten und relativen Häufigkeiten

8.5. Reoperation

2 Patienten mußten im Anschluß an die ventrale Spondylodese wegen oben dargestellter Komplikationen erneut operiert werden. Zum einen handelte es sich um einen Patienten, bei dem sich an der Entnahmestelle des Knochenspanes am Beckenkamm und an der Operationswunde am Hals eine Infektion bildete. Nach 5 Tagen wurde die Wunde revidiert. Nach der Wundrevision heilte die Wunde am Hals reizlos, wobei die Beckenkammwunde noch einmal revidiert werden mußte. Er wurde 2 Monate nach der stationären Entlassung, auf Grund der persistierenden Fistelung und septischen Plattenlockerung, erneut stationär aufgenommen. Es wurde eine Fistelrevision, eine Plattenentfernung und eine Sequestrotomie durchgeführt. Anschließend erfolgte eine dorsale Stabilisierung C₂ bis C₄ mittels kortikospongiösem Span und Cerclage durch die Dornfortsätze. 7 Wochen nach der dorsalen Stabilisierung zeigten die Röntgenaufnahmen eine ausreichende Stabilität und knöcherner Konsolidierung des eingepaßten Knochenspanes. Bei dem zweiten Patienten wurde 6 Tage nach der Operation eine Reoperation durchgeführt, weil es zu einer Redislokation des Dens (nach Densverschraubung) kam. Dabei wurde der Dens zusätzlich mit einer Mini-T-Platte stabilisiert.

8.6. Postoperative Maßnahmen

Die ventrale interkorporelle Spondylodese ist nach der Operation belastungsstabil. Das ist als ein großer Vorteil gegenüber der konservativen Behandlung zu betrachten. Nach der Operation wurde bei allen Patienten möglichst schnell mit der Mobilisierung begonnen. Diese geschah natürlich in Berücksichtigung des Allgemeinzustandes des Patienten und der vorhandenen Begleitverletzungen. Eine solche frühe Mobilisierung ist besonders wichtig bei Patienten mit Querschnittslähmungen, da frühzeitig mit Rehabilitationsmaßnahmen begonnen werden kann. Trotz der durch die Operation erreichten relativ hohen Primärstabilität wurden alle Patienten nach der Operation mit einem Hilfsmittel versorgt, das die Halswirbelsäule zusätzlich von außen stabilisieren sollte. In diesem Zusammenhang erschien es uns aber ratsam, die radiologische Konsolidierung vor der völligen Freigabe der Bewegung abzuwarten. Die knöchernen Konsolidierung der Wirbelfraktur und die Heilung der ligamentären Verletzung brauchen mindestens 6 bis 12 Wochen. Alle Patienten bekamen nach der Operation eine Stiff-Neck-Orthese und eine Schanz-Halskrawatte, die abwechselnd am Tag (Stiff-Neck-Orthese) und in der Nacht (Schanz-Halskrawatte) für insgesamt 12 Wochen getragen werden mußten. Inwieweit die Krawatten und die Orthesen nach der stationären Entlassung wie vorgeschrieben von den Patienten tatsächlich getragen wurden, bleibt fraglich. Bei einer Patientin, die nach der ventralen Densverschraubung eine Fragmentdislokation hatte und zusätzlich mit einer Mini-T-Platte versorgt worden war, wurde postoperativ ein Diadem-Gips angelegt, der für 10 Wochen belassen wurde.

8.7. Materialentfernungen

Für Metallimplantate, die während einer ventralen Spondylodese eingebracht wurden, besteht nicht die zwingende Notwendigkeit, sie nach einer gewissen Zeit, wie es nach Osteosynthese an Extremitäten üblich ist, wieder zu entfernen. Insofern der Patient keine Beschwerden hat, die auf eine Lockerung oder einen Bruch des Implantates zurückzuführen sind, beläßt man an unserer Klinik die Platte im Körper. Dadurch bewahrt man die Patienten vor einer erneuten Operation, die immerhin ein gewisses Risiko (intra- und postoperative Komplikationen) darstellt. Von den 25 Patienten wurde nur in einem Fall das Implantat aufgrund einer infektiös bedingten Plattenlockerung bereits 2 Monate nach der ersten Operation entfernt.

IX. Ergebnisse der Nachuntersuchung

9.1. Material und Methoden

Um die in der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie der Martin-Luther-Universität operativ behandelten Halswirbelsäulenverletzungen aus dem Zeitraum Juli 1991 bis zum Januar 1996 zu erfassen und das operative Ergebnis zu überprüfen, wurden alle diese Patienten zu einer Nachuntersuchung einbestellt.

Von den 25 Patienten, die durch eine ventrale Spondylodese versorgt worden waren, konnten 19 Patienten nachuntersucht werden. 1 Patient war bereits während des stationären Aufenthaltes verstorben. 2 Patienten waren unbekannt verzogen und für eine Nachuntersuchung nicht mehr erreichbar. 3 Patienten kamen trotz mehrmaliger Aufforderung nicht zur Nachuntersuchung.

Die Grundlage für Nachuntersuchung und Auswertung bildeten das Krankenblatt, die Patientenakte der unfallchirurgischen Ambulanz, die Röntgenaufnahmen nach dem Unfall und postoperativ und die CT-Aufnahmen. Alle Patienten wurden nach einem vorher zusammengestellten Untersuchungsbogen systematisch befragt und untersucht, um die klinischen und röntgenologischen Befunde nach ventraler Spondylodese im Hinblick auf eine Verlaufskontrolle zu erfassen.

Bei der Nachuntersuchung standen folgende Gesichtspunkte im Vordergrund:

9.2. Subjektive Beurteilung

Die Patienten wurden aufgefordert, ihr persönliches Urteil über ihre subjektiven Beschwerden abzugeben. Bei den Beschwerden wurde anhand einer vorgegebenen 4-fachen Antwortskala zwischen niemals auftretenden, gelegentlichen, häufigen oder ständigen Ruhe-, Belastungs- und Kopfschmerzen unterschieden. Die Patienten wurden außerdem nach einer Analgetika-Einnahme befragt, ob sie aufgrund der angegebenen Beschwerden regelmäßig, gelegentlich oder keine Schmerzmittel einnehmen.

9.3. Die Objektive Beurteilung

lässt sich in folgenden Dimensionen untersuchen:

9.3.1. Druck- und Bewegungsschmerzen,

- 9.3.2. Verspannungen,
- 9.3.3. Beweglichkeit der Halswirbelsäule,
- 9.3.4. Neurologischer Befund sowie
- 9.3.5. Radiologische Auswertung.

Zu 9.3.1 und 9.3.2.

Bei dieser Untersuchung wurden durch Zug am Kopf Zugschmerzen und durch Druck in axialer Richtung Druckschmerzen provoziert. Zusätzlich konnte durch Klopfen und Drücken auf die einzelnen Dornfortsätze auf weitere Schmerzen untersucht werden. Durch Abtasten der paravertebralen und der Schultermuskulatur wurden eventuelle Verspannungen und Myogelosen diagnostiziert.

9.3.3. Beweglichkeit der Halswirbelsäule

Bei der Überprüfung der Beweglichkeit der Halswirbelsäule wurden die Patienten aufgefordert, den Kopf nacheinander in allen 3 Bewegungsebenen zu bewegen (Rotation nach rechts und links, Seitenneigung nach rechts und links sowie Vor- und Rückneigung). Die Auswertung wurde anhand des Meßblattes für die Wirbelsäule, das folgende Bewegungsausmaße als Normalwerte angibt, durchgeführt: Rotation rechts/links 60-80°/0/60-80°, Seitenneigung 45°/0/45°, Vor-/Rückneigung 35-45°/0/45-70°.

Als zusätzliche Parameter für die Beweglichkeit der Halswirbelsäule wurden der Kinn-Schulter-Abstand (Abstand zwischen Kinnspitze und laterale Begrenzung des Acromions) sowie der Kinn-Sternum-Abstand (Abstand zwischen Kinnspitze und Incisura jugularis) bestimmt.

9.3.4. Neurologischer Befund

Die neurologische Symptomatik wurde in einer Längsschnittanalyse zu 2 verschiedenen Zeitpunkten bestimmt. Anhand der Krankenunterlagen wurde festgestellt, ob unmittelbar nach dem Unfall neurologische Störungen auftraten und in welchem Ausmaß diese vorlagen. Außerdem wurde mit Hilfe der Krankenunterlagen die Entwicklung der vorhandenen Ausfälle nach der ventralen Fusion verfolgt.

Durch die Nachuntersuchung wurde der aktuelle Zustand der neurologischen Ausfälle dokumentiert und ausgewertet.

Der neurologischen Status wurde nach einem 10stufigen Schema, dem "Sunnybrook Cord Injury Scale", erfaßt. Dabei handelt es sich um eine Erweiterung der FRANKEL-Abstufung zur genauen Dokumentation der neurologischen Befundverbesserung bzw. -verschlechterung.

9.3.5. Radiologische Auswertung

Anhand der Röntgenaufnahmen wurde das Verhalten des Osteosynthesematerials (Schraubenlockerung, abgebrochene Platte oder Schraube) sowie Segmentveränderungen aufgrund der Osteosynthese (nasen- und spangförmige Spondylophyten, degenerative Veränderungen in Nachbarschaft der Spondylodesen) kontrolliert. Mittels Funktionsaufnahmen in maximaler Flexion und maximaler Extension konnte die Abnahme oder Zunahme der Beweglichkeit aufgrund der Spondylodese der einzelnen Segmente mit dem von PENNING (52) angegebenen Verfahren gemessen werden.

9.4. Schmerzen in Ruhe

Von den 19 nachuntersuchten Patienten gaben 2 an, in Ruhe oder wetterabhängig Schmerzen zu haben. 6 Personen hatten belastungsabhängige (bei längerer Schreibtischtätigkeit oder Über-Kopf-Arbeit bzw. bei Tätigkeiten, die häufige Kopfbewegungen erfordern) Schmerzen, die bis zum Hinterkopf ausstrahlen. 11 Personen gaben bei der Untersuchung an, in Ruhe oder bei Belastungen keine Schmerzen zu haben. In der Stichprobe der Nachuntersuchten nahmen 7 Personen kein Schmerzmittel wegen Beschwerden durch die Halswirbelsäule ein. Eine Person benötigte ständig Analgetika.

In der Gruppe der Patienten, die angaben Schmerzen zu haben, handelte es sich um 2 Personen mit Densfrakturen, 4 Personen mit Kompressionsfrakturen und 2 Personen mit Luxationsfrakturen. In unserer Studie konnten wir aufgrund der niedrigen Fallzahlen keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Schmerzhäufigkeit und Anzahl der fusionierten Segmente feststellen. Von den 8 Personen mit belastungsabhängigen Schmerzen wurde bei 2 Personen eine Densverschraubung, bei 4 eine bisegmentale Fusion und bei den restlichen 2 eine monosegmentale Spondylodese durchgeführt.

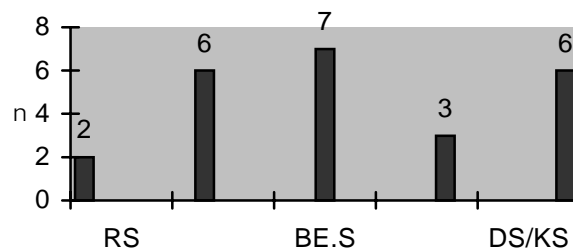
9.5. Klinische Untersuchung

9.5.1 Untersuchung der Halswirbelsäule auf Schmerzhaftigkeit

Bei 6 von 19 nachuntersuchten Patienten waren Druck- und Klopfschmerzen im Bereich der Halswirbelsäule ausgelöst worden. Nach der Densverschraubung gaben 3 Patienten Zugschmerzen an. Im Kontext der Analyse eines hypothetischen Zusammenhangs zwischen Schmerzhäufigkeit und Anzahl fusionierter Segmente, ließ sich feststellen, daß in der Gruppe, in der Patienten angaben, Schmerzen zu empfinden, der prozentuale Anteil derer mit bisegmentaler Fusion höher war. Von den 6 bisegmentalen Fusionen gaben 4 Patienten Druck- und Klopfschmerzen an. Von den 8 monosegmentalen Fusionen gaben nur 2 Patienten Druck- und Klopfschmerzen an. Es kann hier also von einer tendenziellen Zunahme von Druck- bzw. Klopfschmerzen mit zunehmender Anzahl der überbrückten Segmente gesprochen werden.

9.5.1.1. Bewegungsschmerzen

Bei 7 nachuntersuchten Patienten war die durchgeführte Bewegungsüberprüfung endgradig schmerzhaft. Die restlichen 12 Patienten verspürten selbst bei maximalen Bewegungsausschlägen keine Bewegungsschmerzen. Bei den 7 Patienten handelte es sich um 4 Patienten nach Densverschraubung, 2 Patienten nach monosegmentalen Fusionen und einem Patienten nach einer bisegmentalen Fusion. Diese Auswertung zeigt, daß die Länge der Fusionsstrecke nicht mit den auftretenden Beschwerden gleichzusetzen ist. Interessant ist, daß alle Patienten mit Densverschraubung diese Beschwerden, insbesondere den Rotationsschmerz, angeben.



Graphik 4: Häufigkeitsverteilung subjektiver Beschwerdeformen in der Gruppe der schmerzenangebenden Befragten

9.5.1.2 Verspannungen

Bei 8 Patienten, die zuvor über Schmerzen in Ruhe und bei Belastung geklagt hatten, waren Verspannungen in der paravertebralen Muskulatur der Halswirbelsäule und Schultermuskulatur zu tasten. Diese Befunde ließen vermuten, daß es aufgrund der Schmerzen zu einer reaktiven Erhöhung des Muskeltonus kam.

9.5.2 Bewegungsmessungen

Rotation

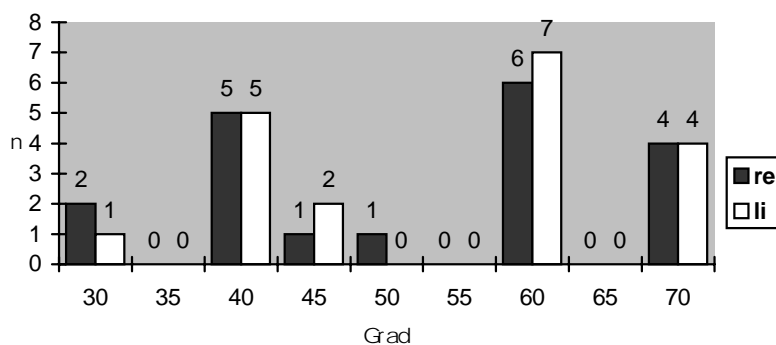
Bei der Überprüfung der Beweglichkeit der Halswirbelsäule wurden die Patienten aufgefordert, den Kopf nacheinander in allen 3 Bewegungsebenen zu drehen (Rotation nach rechts und links, Seitenneigung nach rechts und links und Vor- und Rückneigung). Die Auswertung wurde anhand des Meßblattes für die Wirbelsäule, das folgende Bewegungsausmaße als Normalwerte angibt, durchgeführt: Rotation rechts/links 60-80°/0/60-80°, Seitenneigung 45°/0/45°, Vor-/Rückneigung 35-45°/0/45-70°.

Der Medianwert der Rotation im Gesamtkollektiv lag sowohl bei Drehung nach rechts als auch nach links bei 60°(Norm). Für beide Richtungen betrug das Minimum aller gemessenen Grade

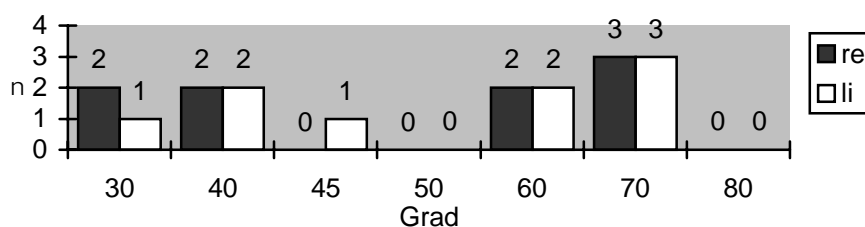
30° (50 % der Norm) und das Maximum 70°(Norm), in Relation - wie auch im folgenden - zum unteren Normwert.

Bei den nach rechts gemessenen Rotationsbewegungen lagen 9 (47.3%) Patienten unterhalb des Normbereiches. Die mittlere Einschränkung betrug 20.5° (Min. 5°; Max. 30°). Bei den nach links gemessenen Rotationsbewegungen gab es 8 (42,1%) Patienten mit Bewegungseinschränkung. Die mittlere Einschränkung betrug hier 20° (Min. 15°; Max. 30°). Bei einem Patienten war die Rotation nach links nicht eingeschränkt. Bei 10 Patienten waren in beiden Richtungen keine Bewegungseinschränkungen zu verzeichnen.

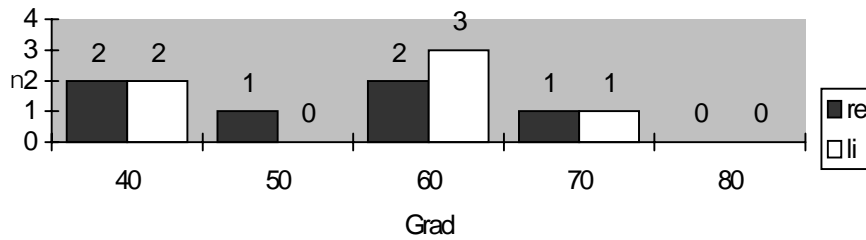
Betrachtet man den Zusammenhang zwischen Rotationseinschränkung und Anzahl der fusionierten Segmente, so läßt sich feststellen, daß bei 3 der 6 nachuntersuchten Patienten mit bisegmentalen Fusionen die Rotationsbewegung eingeschränkt war. Bei 3 der 6 Nachuntersuchten waren Rechtsdrehung und Linksdrehung eingeschränkt, wobei bei 2 Patienten beide Bewegungen gleichzeitig reduziert waren (um 20°), bei einem nur die nach rechts um 10°. In der Gruppe der Patienten mit monosegmentaler Fusion war bei 4 der 8 nachuntersuchten Patienten die Rotationsbewegung eingeschränkt.



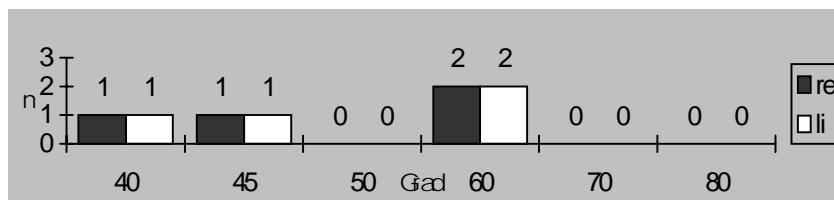
Graphik 5: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Rotationsgrade im Gesamtkollektiv in Gegenüberstellung rechts/links



Graphik 6: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Rotationsgrade nach monosegmentalen Fusionen in Gegenüberstellung rechts/links



Graphik 7: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Rotationsgrade nach bisegmentalen Fusionen in Gegenüberstellung rechts/links



Graphik 8: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Rotationsgrade nach Densverschraubungen in Gegenüberstellung rechts/links.

Flexion / Extension

Der Medianwert der in der Population bei Flexion und Extension gemessenen Winkel betrug 40°. Der kleinste Wert sowohl der gemessenen Flexions- als auch Extensionswinkel betrug 10° (28,6 bzw. 22,2% der Norm), das Maximum bei Flexion 50°, bei Extension 55° (Normbereich).

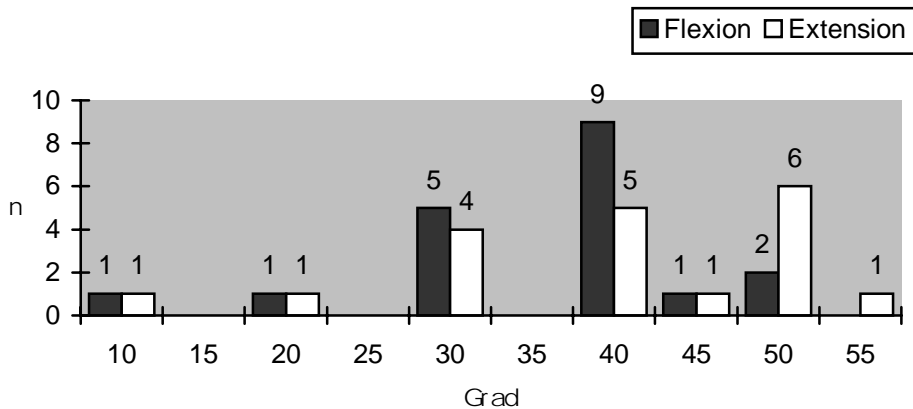
Die Flexion war bei 7 Patienten eingeschränkt, lag also unterhalb von 35°. Für die Extension betrug der Anteil derer, die die untere Normgrenze von 45° nicht erreichten, 11. Die mittlere Einschränkung für die Flexion lag bei 9,2° und für die Extension bei 12,2° [Minimum bei Flexion=5°, Maximum=25°, Min. bei Extension 5°, Max.=35°]. Die 7 Patienten, die eine Flexionseinschränkung aufwiesen, hatten gleichzeitig eine Extensionseinschränkung. Folglich haben 4 Patienten ausschließlich eine Extensionseinschränkung.

In der nach Anzahl der überbrückten Segmente geordneten Patientenauswahl betrug der Medianwert der gemessenen Winkel in der Gruppe der monosegmentalen Fusionen 40° für die Flexion und 50° für die Extension (= Normbereich). Das Minimum der gemessenen Winkelgrade lag bei 10° für Flexion und Extension. Das Maximum betrug 50° (Flexion) bzw. 55° (Extension). 3 Patienten befanden sich bei der Messung der Flexion und 5 bei der Extension

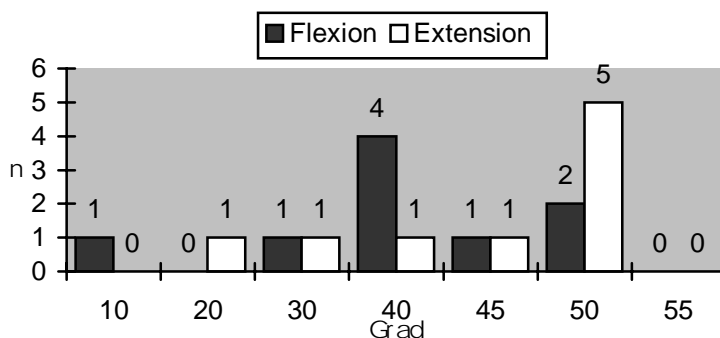
unterhalb des Normbereiches, wobei bei 3 der Patienten beide Bewegungen eingeschränkt waren, bei 2 Patienten nur die Extension. Die mittlere Einschränkung der Flexion betrug 15° (42,2% der Norm), die der Extension 17° (37,7% der Norm).

In der Gruppe der Patienten mit bisegmentaler Fusion lag der Medianwert für die Flexion bei 30° (83,4% der Norm) und für die Extension bei 35° (87,8% der Norm). Das Minimum betrug bei der Flexion 30°, bei der Extension ebenfalls 30° und das Maximum jeweils 40°.

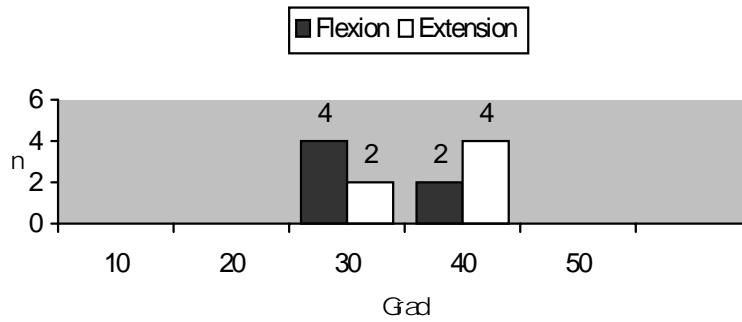
4 Nachuntersuchte lagen bei der Flexion unterhalb des Normalwertes, bei 6 Patienten war die Extension eingeschränkt. Bei den 4 Patienten mit Flexionseinschränkung war gleichzeitig die Extension eingeschränkt. Für 2 Patienten war nur die Rückwärtsbewegung eingeschränkt. Die mittlere Einschränkung lag hinsichtlich der Flexion bei 5°, bei der Extension 10° (14,2% bzw. 22,2% ; Min. jeweils 5°, Max. bei der Flexion 5°, bei der Extension 15°).



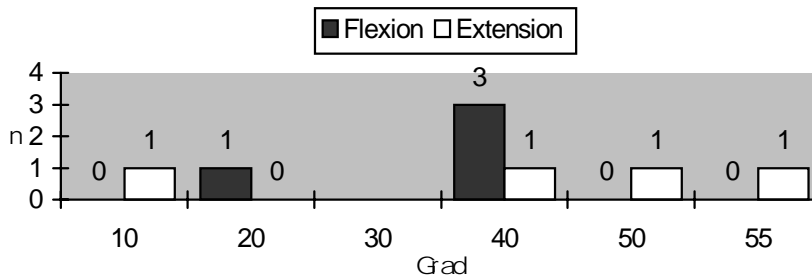
Graphik 9: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Grade im Gesamtkollektiv bei Flexion und Extension



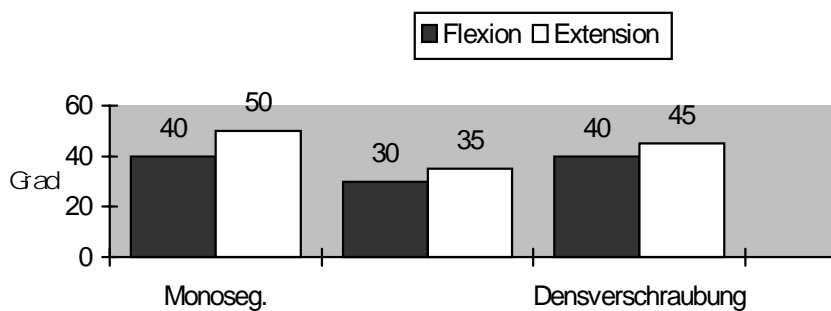
Graphik 10: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Winkelgrade nach monosegmentalen Fusionen in Gegenüberstellung Flexion/Extension



Graphik 11: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Winkelgrade nach bisegmentalen Fusionen in Gegenüberstellung Flexion/Extension



Graphik 12: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Winkelgrade nach Densverschraubungen in Gegenüberstellung Flexion/Extension



Graphik 13: Medianwerte der Bewegungsauslässe bei Flexion/Extension nach Anzahl der überbrückten Segmente.

Seitenneigung

Der Medianwert der Seitenneigung lag im Gesamtkollektiv sowohl nach rechts als auch nach links bei 30° (66,7% der Norm); also unterhalb des Normwertes von 45°. Der minimale Wert lag bei der Seiteneigung nach rechts bei 10° und nach links bei 20° (22,2% bzw. 44,4% der Norm); das Maximum betrug auf beiden Seiten 45° (100% der Norm).

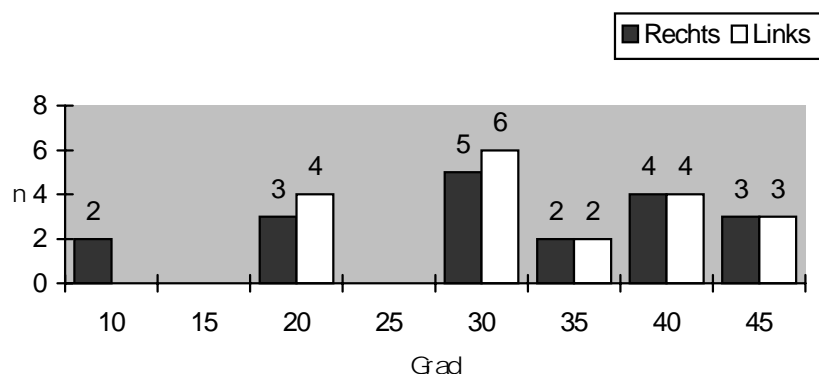
Von den nach rechts und links gemessenen Werten lagen 16 unterhalb der Norm.

Bei 3 Patienten waren die Bewegungen in beide Richtungen nicht eingeschränkt. Bei 13 Patienten waren die in beiden Richtungen gemessenen Werte gleich. Bei 6 Patienten war die Bewegung zu einer Seite im Vergleich zur anderen stärker eingeschränkt. Dabei reichen die Differenzen von 5° bis 20°. Bei 4 von diesen war die Neigung nach rechts eingeschränkter als nach links. Die mittlere Einschränkung betrug in der Gesamtauswahl 16,3° nach rechts und 14,4° nach links.

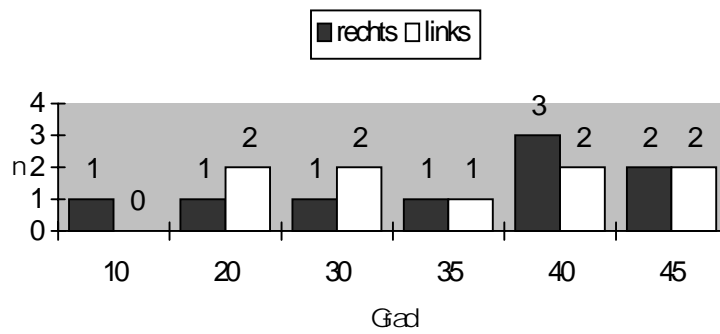
Ordnet man die Ergebnisse nach der Anzahl der überbrückten Segmente, ergab sich für die monosegmentalen Fusionen ein Medianwert von 40° (88,8% der Norm) nach rechts und 35° (77,9% der Norm) nach links. Der Minimalwert in dieser Gruppe betrug rechts 10° und links 20°, das Maximum jeweils 45°.

Von den 13 Nachuntersuchten mit monosegmentalen Fusionen war bei 11 Patienten die Seitenneigung auf beiden Seiten eingeschränkt. Bei 4 Patienten war im Seitenvergleich die Neigung nach rechts um 11,2° im Mittel kleiner als die Neigung nach links (Min.= 5°, Max.=20°). Bei einem Patienten war die Neigung nach links kleiner als die nach rechts. Bei 8 Patienten entsprachen sich beide Werte.

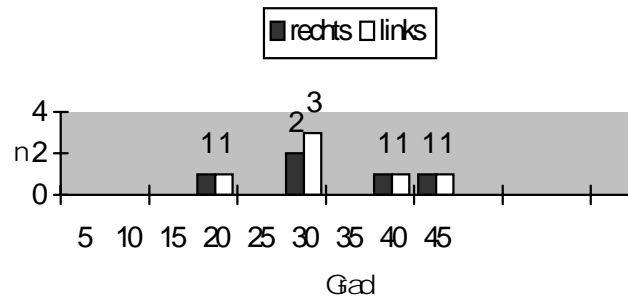
Bei den bisegmentalen Fusionen betrug der Medianwert der gemessenen Winkel für die Neigung nach rechts 32,5°, für die nach links 30° (= 72,2% bzw. 66,7% der Norm). Von den 6 Nachuntersuchten mit bisegmentalen Fusionen war bei 5 Patienten die Seitenneigung eingeschränkt. Bei 4 von ihnen entsprachen sich die nach rechts und links gemessenen Werte. Bei einem Patienten war die Neigung nach links um 5° kleiner als die nach rechts.



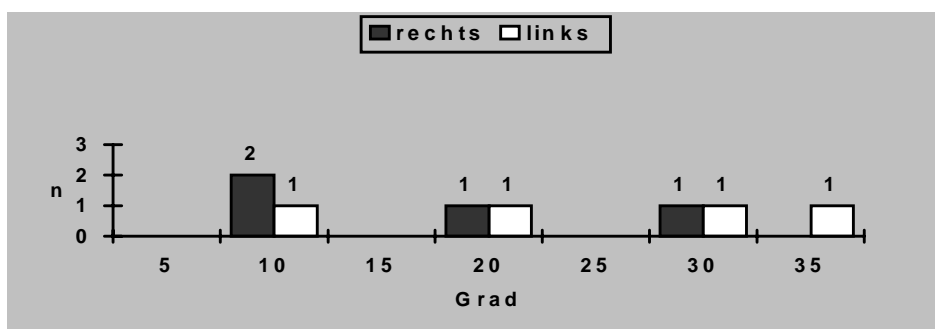
Graphik 14: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Winkelgrade in der Population bei Seitenneigung rechts/links



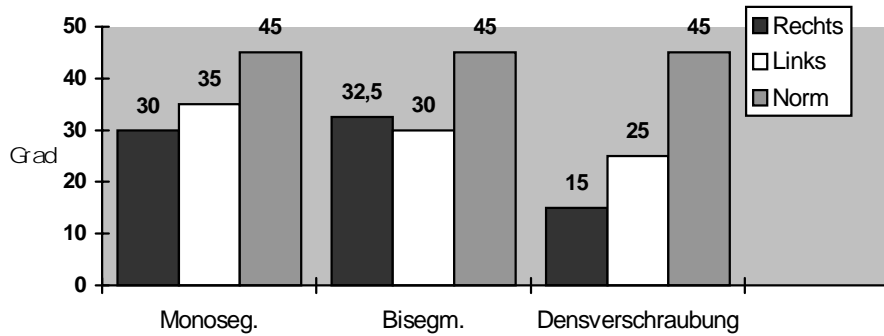
Graphik 15: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Winkelgrade nach monosegmentalen Fusionen bei Seitenneigung rechts/links



Graphik 16: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Winkelgrade nach bisegmentalen Fusionen bei Seitenneigung rechts/links



Graphik 17: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Winkelgrade nach Densverschraubungen bei Seitenneigung rechts/links



Graphik 18: Medianwert der Bewegungsausschläge (Seitenneigung) nach der Anzahl der überbrückten Segmente im Vergleich zum Normwert.

Kinn-Schulter-Abstand

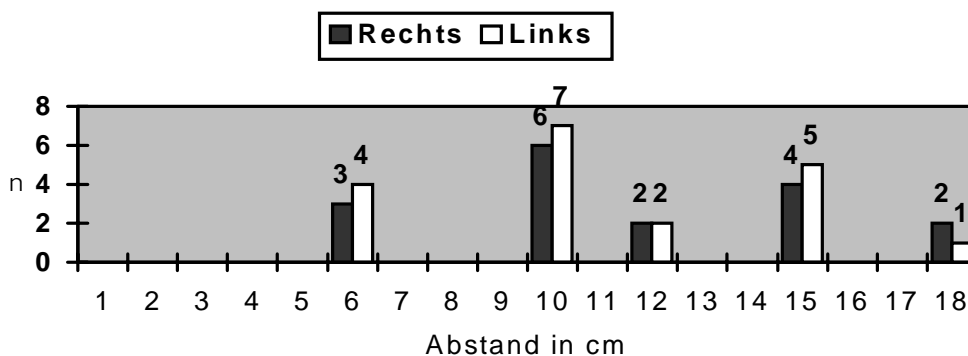
Hier wird der Abstand zwischen Kinnspitze und lateraler Begrenzung des Acromions bei maximaler Rotation, Seitenneigungsbewegung und herabhängenden Armen gemessen.

Der mittlere Kinn-Schulter-Abstand in der Gesamtauswahl zu beiden Seiten betrug 10,9 cm. Bei 16 Patienten entsprachen sich die zur rechten und zur linken Seite gemessenen Werte. Bei 3 Patienten war die rechte Seite im Vergleich zur linken Seite eingeschränkter.

Der Medianwert der Abstandsdifferenz zur rechten Seite lag bei 12 cm, zur linken Seite bei 8 cm. In der Gruppe der Patienten mit monosegmentaler Fusion betrug der Medianwert der Abstandsdifferenz zur rechten Seite 11 cm und zur linken Seite 10,5 cm (rechts: Min.=6 cm; Max.=18 cm; links: Min.=6 cm, Max.=15 cm).

Bei 2 Patienten waren die nach links gemessenen Werte jeweils um 3 cm kleiner als die nach rechts gemessenen.

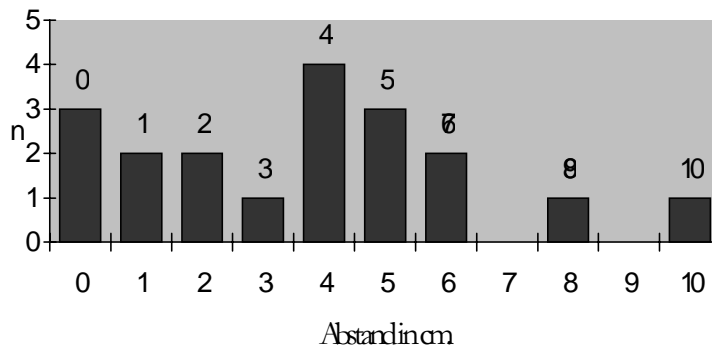
Bei den Patienten mit bisegmentalen Fusionen war der Median der Abstände nach rechts größer als nach links (12.3 cm rechts zu 10,5 cm links, auf beiden Seiten: Min=6 cm; Max=15 cm).



Graphik 19: Häufigkeitsverteilung des Kinn-Schulter-Abstandes

Kinn-Jugulum-Abstand

Als zusätzlicher Parameter für die Beweglichkeit der Halswirbelsäule wurde der Abstand zwischen Kinnspitze und Incisura jugularis bei maximaler Flexion gemessen. Der mittlere Kinn-Jugulum-Abstand betrug in der gesamten Untersuchungsgruppe 2,5 cm (Min.=0 cm ; Max.10 cm).



Graphik 20: Häufigkeitsverteilung des gemessenen Kinn-Jugulum-Abstandes in cm.

9.5.3 Auswertung der neurologischen Befunde

Der neurologische Status wurde nach einem 10stufigen Schema, dem "Sunnybrook Cord Injury Scale" erfaßt. Dabei handelt es sich um eine Erweiterung der Frankel-Abstufung zur genauen Dokumentation der neurologischen Befundverbesserung bzw. -verschlechterung.

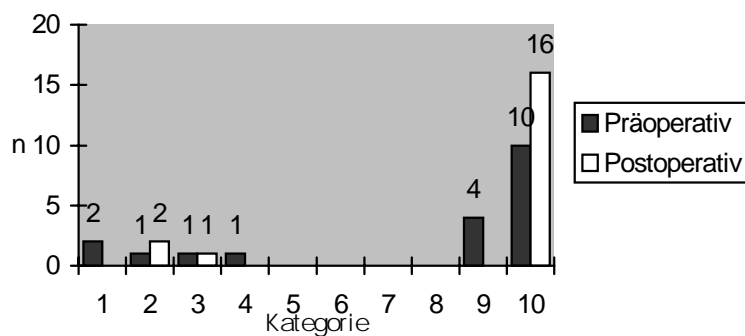
Grad	Beschreibung	Frankel-Grad
1	Motorik und Sensibilität komplett gelähmt	A
2	Motorik komplett, Sensibilität inkomplett	B
3	Motorik inkomplett, gebrauchsunfähig, Sensibilität komplett	C
4	Motorik inkomplett, gebrauchsunfähig, Sensibilität inkomplett	C
5	Motorik inkomplett, gebrauchsunfähig, Sensibilität normal	C
6	Motorik inkomplett, gebrauchsfähig, Sensibilität komplett gelähmt	D
7	Motorik inkomplett, gebrauchsfähig, Sensibilität inkomplett	D
8	Motorik inkomplett, gebrauchsfähig, Sensibilität normal	D
9	Motorik normal, Sensibilität inkomplett	D
10	Motorik und Sensibilität normal	E

Tabelle 14: "Sunnybrook Cord Injury Scale" nach TATOR

Von den 10 Patienten, die nach dem Unfall neurologische Ausfälle hatten (vgl. S. 36), konnte bei 9 Patienten durch eine Nachuntersuchung der aktuelle Befund der Neurologie erfaßt werden.

Nach dem Unfall wurden 2 Patienten der Kategorie 1, 1 Patient der Kategorie 2, 1 Patient der Kategorie 3, 1 Patient der Kategorie 4 und 4 Patienten der Kategorie 9 zugeordnet. Bei 10 Patienten wurden keine neurologische Ausfälle festgestellt.

Bei der Nachuntersuchung belief sich die absolute Häufigkeit der Patienten mit unauffälliger Neurologie auf 16. Bei allen Patienten der Kategorie 9 konnte eine Normalisierung des neurologischen Befundes erreicht werden. Bei 2 Patienten, die zuvor eine inkomplette motorische Lähmung mit Gebrauchsunfähigkeit hatten, kam es zu einer vollständigen Restitution und Normalisierung des neurologischen Befundes. Bei den Patienten in den Kategorien 1 und 2 konnte im Vergleich zur Ausgangssituation eine Besserung um eine Stufe festgestellt werden.



Graphik 21: Häufigkeitsverteilung der Patienten nach den jeweiligen Kategorien neurologischer Ausfälle zum Zeitpunkt vor der Operation und während der Nachuntersuchung (missings = 6 Fälle)

9.6. Radiologische Ergebnisse

9.6.1. Durchbauung des Knochenspanes bzw. der Densfrakturen

Die 21, mit einem Knochenspan verblockten Segmente, waren alle knöchern konsolidiert. Die 4 Densfrakturen, die zuvor durch eine Densverschraubung nach BÖHLER (15) und MAGREL versorgt wurden, waren ebenfalls in einer anatomiegerechten Stellung knöchern konsolidiert. Eine Spanpseudarthrosenbildung wurde bei keinem der Patienten beobachtet.

9.6.2. Materiallockerung bzw. Materialbruch

Von den 19 nachuntersuchten Patienten wurde bei zwei Patienten ein Materialbruch beobachtet. Dabei handelt es sich um einen Plattenbruch bei einer Patientin, bei der eine Kompressionsfraktur des 5. Halswirbelkörpers vorlag und die mit einer Spondylodese über 2 Segmente (vom C₄ nach C₆) nach Entfernung von C₅ sowie mit Sicherung durch eine Doppel-H-Platte versorgt worden war. Die Patientin ist allerdings völlig beschwerdefrei. Radiologisch steht die Bruchstelle in keiner Weise mit den Weichteilorganen in Verbindung.

Bei dem 2. Patienten handelte es sich um einen intrakorporellen Schraubenbruch, der in keiner Weise zur Plattenlockerung führte.

Bei den restlichen 17 Patienten wurden keine Lockerungszeichen in Form eines Lockerungssaumes oder einer Implantatdislokation beobachtet.

9.6.3. Spondylophyten- und Spangenbildung

Die Röntgenuntersuchung der an die Spondylodese angrenzenden Segmente zeigte bei 3 Patienten eine Spondylophytenbildung. Bei einem dieser Patienten bestand eine solche Veränderung (degenerative Veränderung der gesamten Halswirbelsäule) auch schon vor dem Unfall. Bei einem anderen Patienten bestand die Veränderung im oberen und bei einem weiteren Patienten im unteren Nachbarsegment. Bei diesen 2 Patienten beschränkte sich diese Veränderung auf die Nachbarsegmente. Bei einem waren sie an der gesamten Halswirbelsäule nachweisbar.

Bei 7 nachuntersuchten Patienten war es durch überbrückende Spondylophyten (Spangenbildung) zur Fusion eines oder beider Nachbarsegmente gekommen.

In 5 Fällen handelte es sich dabei um eine Überbrückung der beiden proximalen und distalen Nachbarsegmente, in einem Fall nur um die des proximalen und in einem anderen Fall nur um die des distalen Nachbarsegmentes. Unter den Patienten mit monosegmentalen Fusionen war in 5 Fällen eine derartige Veränderung zu verzeichnen. Bei den bisegmentalen Fusionen konnten bei 2 Patienten eine Fusion über eine Spangenbildung eines oder beider Nachbarsegmenten beobachtet werden.

Bei allen Patienten sahen wir eine korrekt gewählte Plattenlänge. Keine Platte ragte über einen Wirbelkörper hinaus. Für die reaktiven Veränderungen an den Nachbarsegmenten scheint neben möglichen unfallbedingten Band- und Diskusverletzungen wohl am ehesten die ausgedehnte Präparation des vorderen Längsbandes während der Operation verantwortlich zu sein.

9.7. Bewegungsmessungen der Einzelsegmente

Hier wurden die Bewegungsmaße der einzelnen Segmente mit dem von PENNING angegebenen Verfahren gemessen. Als Vergleichsgrundlage dienten die folgenden Bewegungsausmaße:

- C_1/C_2 : 25-45°
- C_2/C_3 : 5-16°
- C_3/C_4 : 13-26°
- C_4/C_5 : 15-29°
- C_5/C_6 : 16-29°
- C_6/C_7 : 6-25°

Für die Gesamtbeweglichkeit der Segmente von C_1 bis C_7 ergibt sich folglich ein Normalwert von 80 bis 170°.

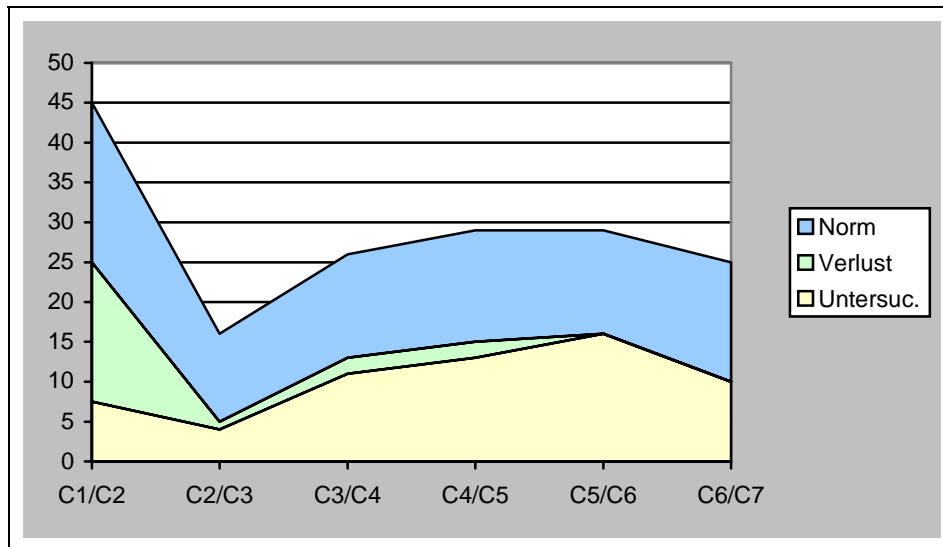
Für die Bewertung der Beweglichkeit wurden die Patienten in 3 Gruppen eingeteilt.

1. Patienten, die nach einer Densfraktur einer direkten Verschraubung unterzogen worden waren,
2. Patienten mit monosegmentalen Fusionen,
3. Patienten mit bisegmentalen Fusionen.

9.7.1. Patienten mit einer direkten Densverschraubung

Insgesamt wurden 4 Patienten nach einer direkten Densverschraubung nachuntersucht.

Der Medianwert der Gesamtbeweglichkeit der Halswirbelsäule von C_1 bis C_7 lag in der untersuchten Population bei 62°, d.h. bei 77,5% der Norm (Min. = 30°, Max. 65°); so vom unteren Normwert ausgegangen wird. Eine verminderte Beweglichkeit aller Segmente mußte bei einer Patientin festgestellt werden. Bei dieser Patientin handelte es sich allerdings um eine Patientin hohen Alters (83 Jahre), bei der die gesamte Halswirbelsäule stark degenerativ verändert war, und diese Veränderung folglich unabhängig vom Unfall zu einer erheblichen Bewegungseinschränkung führte. Eine Hypermobilität der Nachbarsegmente (C_2/C_3) wurde bei keinem der nachuntersuchten Patienten beobachtet. Die Beweglichkeit des ersten Segmentes (C_1/C_2) war bei allen Patienten im Mittel um 63% (Min.17°, Max.21°) eingeschränkt. In den Segmenten C_3/C_4 und C_4/C_5 wurde eine Abnahme der Beweglichkeit um jeweils 23% beobachtet. In den untersten Segmenten war keine Einschränkung der Beweglichkeit zu verzeichnen. Je tiefer das Segment vom 2. Wirbelkörper entfernt lag, umso geringer war die Einschränkung der Segmentbeweglichkeit.



Graphik 22: Gemessener Winkelgrad der Beweglichkeit einzelner Segmente eines Merkmalsträgers nach einer direkten Densverschraubung gegenüber dem von PENNING angegebenen Normwerten

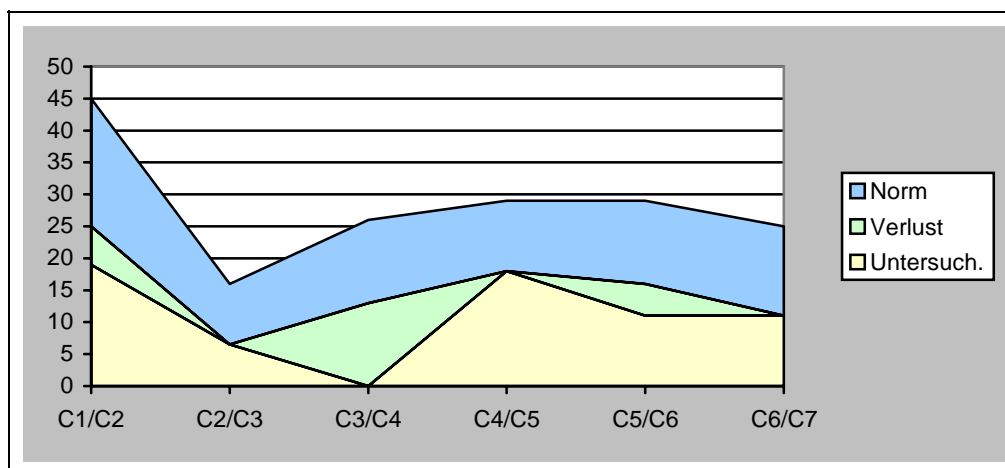
9.7.2. Patienten mit monosegmentalen Fusionen

Insgesamt wurde bei 8 Patienten eine monosegmentale Fusion durchgeführt. So waren bei 2 Patienten das Segment C_3/C_4 , bei 3 Patienten das Segment C_4/C_5 , bei 2 Patienten das Segment C_5/C_6 und bei einem Patienten das Segment C_7/TH_1 verblockt.

Der Medianwert der Gesamtbeweglichkeit der nicht verblockten Segmente lag in der gesamten Untersuchungseinheit bei $64,5^\circ$, also bei 81,2% der Norm (Min= 44° , Max.= 70°). Alle Patienten lagen im Durchschnitt um $18,8^\circ$ unterhalb des Normbereiches (Min. 12° , Max. 36°). Bei den beiden Patienten, bei denen das C_3/C_4 Segment verblockt war, betrug die Gesamtbeweglichkeit aller Segmente im Mittel $65,5^\circ$. Die Abweichung vom Normwert beträgt hier lediglich $14,5^\circ$. In den oberen und unteren Nachbarsegmenten war keine Zunahme des Bewegungsausmaßes festzustellen.

Segmente	C_1/C_2	C_2/C_3	C_3/C_4	C_4/C_5	C_5/C_6	C_6/C_7
Pat. 1	18°	7°	0	20°	10°	10°
Pat. 2	20°	6°	0	16°	12°	12°
Median	19°	$6,5^\circ$	0	18°	11°	11°
Norm	25°	5°	13°	15°	16°	6°

Tabelle 15: Bewegungsausmaße der einzelnen Segmente zweier Patienten nach einer monosegmentalen Fusionen des C_3/C_4 Segmentes im Vergleich zum unteren Normwert



Graphik 23: Gemessener medianer Winkelgrad der einzelnen Segmente nach einer Spondylodese des C₃/C₄ Segmentes gegenüber den von PENNING angegebenen Normwerten

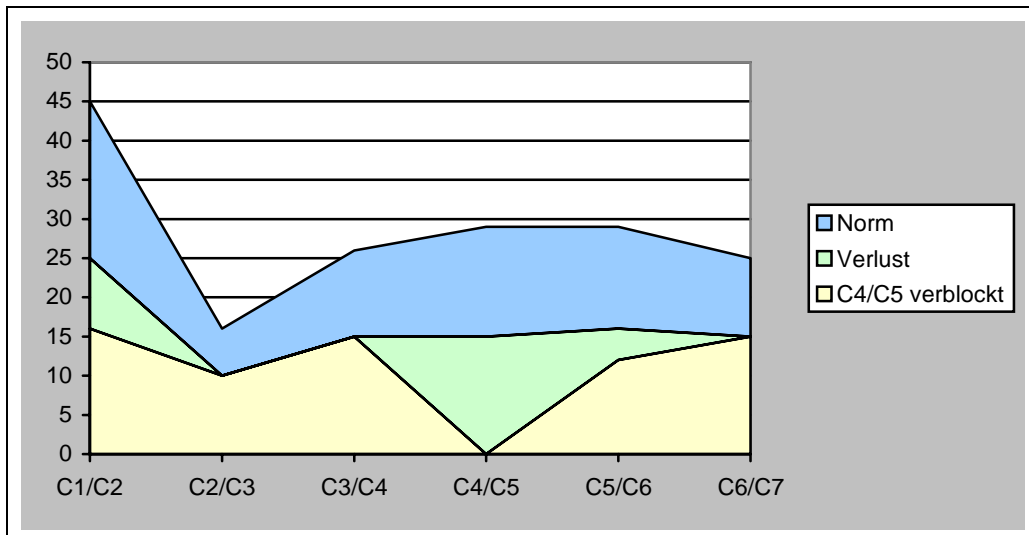
Bei 3 Patienten war das Segment C₄/C₅ spondylodisiert. Der Medianwert der Gesamtbeweglichkeit aller Segmente in dieser Gruppe lag bei 68° (Min.= 56°, Max.= 70°), somit bei 85% der Norm. Eine kompensatorische Hypermobilität der Nachbarsegmente war bei keinem Patienten vorzufinden. Die Bewegungsausschläge der oberen und unteren Nachbarsegmente bei einem Patienten lagen im Durchschnitt bei 6,5° unter den segmentspezifischen Werten.

Zwei Patienten hatten eine C₅/C₆ Verblockung, wobei die mediane Gesamtbeweglichkeit aller Segmente lag bei 61° lag. Eine kompensatorische Hypermobilität der benachbarten Segmente konnte nicht festgestellt werden. Aufgrund der Verblockung des Segmentes, an dem die Halswirbelsäule am beweglichsten ist, musste die mediane Gesamtbeweglichkeit hier als am unzureichendsten beschrieben werden.

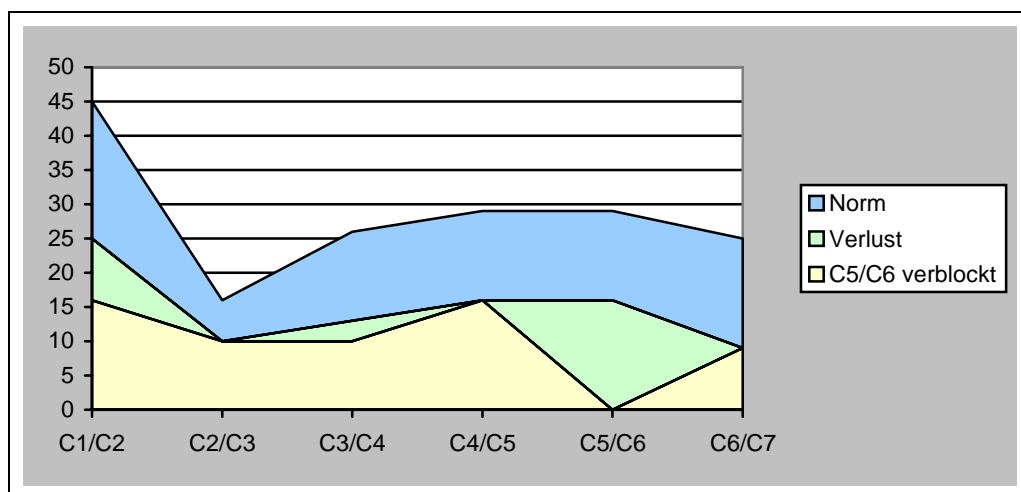
Bei einem Patienten war das Segment C₇/TH₁ verblockt. Die Gesamtbeweglichkeit aller Segmente lag bei 58° (62,5% der Norm).

Segment	C ₁ /C ₂	C ₂ /C ₃	C ₃ /C ₄	C ₄ /C ₅	C ₅ /C ₆	C ₆ /C ₇
Normal	25°	5°	13°	15°	16°	6°
C ₄ /C ₅	16°	10°	15°	0	12°	15°
C ₅ /C ₆	16°	10°	10°	16°	0	9°

Tabelle 16: Medianwerte der gemessenen Beweglichkeit aller Segmente nach Spondylodese der Segmente C₄/C₅ und C₅/C₆ im Vergleich mit den von PENNING angegebenen Normwerten



Graphik 24: Graphische Darstellung der Medianwerte der gemessenen Beweglichkeit aller Segmente nach Spondylodese der Segmente C₄/C₅ im Kontrast zu den von PENNING angegebenen Normwerten



Graphik 25: Graphische Darstellung der Medianwerte der gemessenen Beweglichkeit aller Segmente nach Spondylodese der Segmente C₅/C₆ gegenüber den von PENNING angegebenen Normwerten

9.7.3. Patienten mit bisegmentalen Fusionen

Insgesamt betrug die Anzahl der nachuntersuchten Patienten mit bisegmentalen Fusionen 6 Fälle. Hierbei wurden insgesamt 11 Segmente der Halswirbelsäule verblockt. Da bei einem Patienten eine Spondylodese von C₆ auf TH₁ erfolgte, war nur das unterste Segment der Halswirbelsäule verblockt.

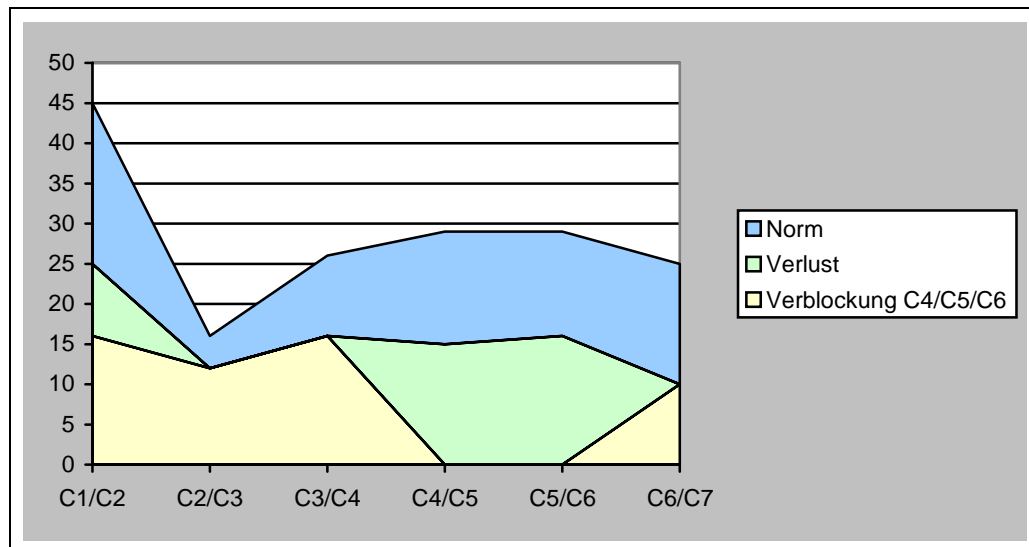
Der Medianwert der Gesamtbeweglichkeit der Halswirbelsäule lag im nachuntersuchten Patientengut bei 53,5°, also bei 66,9% der Norm (Min.=50°, Max. 68°). Bei einem Patienten

dieser untersuchten Population, bei dem das Segment C₆/TH₁ verblockt war, ließ sich ein Bewegungsausschlag von 68° ausmachen.

Bei den restlichen 5 Patienten lag der Bewegungsausschlag im Mittel bei 52,5°. Eine kompensatorische Hypermobilität in den der Spondylodese benachbarten Segmenten beobachteten wir bei keinem Patienten.

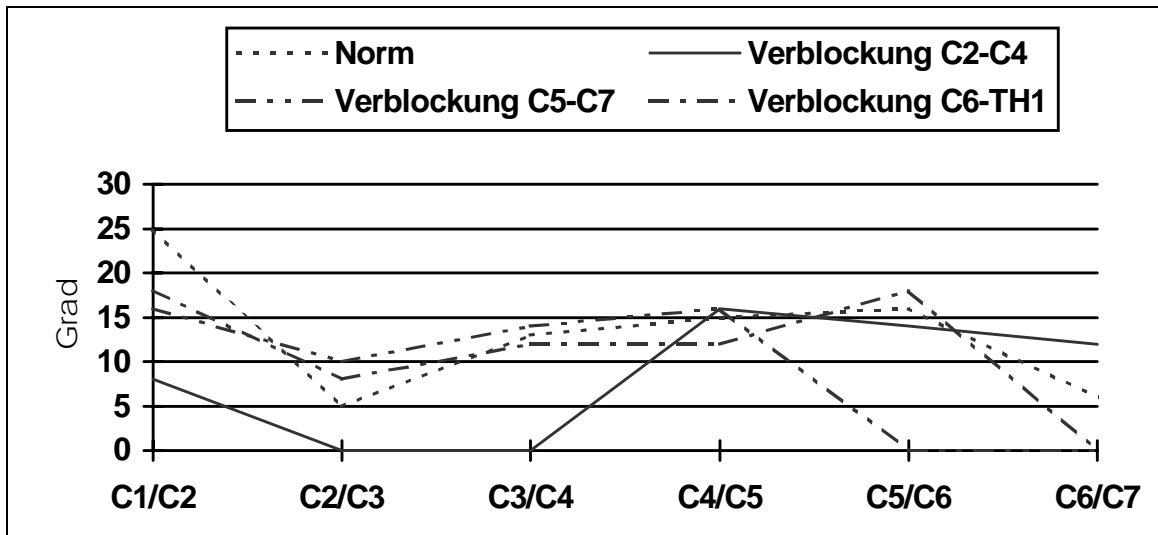
Segment	C ₁ /C ₂	C ₂ /C ₃	C ₃ /C ₄	C ₄ /C ₅	C ₅ /C ₆	C ₆ /C ₇
Pat.1	16°	12°	16°	0	0	10°
Pat.2	16°	14°	16°	0	0	10°
Pat.3	12°	8°	15°	0	0	12°
Median	16°	12°	16°	0	0	10°

Tabelle 17: Gemessene Beweglichkeit aller Segmente und Medianwerte nach Spondylodese der Segmente C₄ auf C₆



Graphik 26: Graphische Darstellung der Medianwerte der gemessenen Beweglichkeit aller Segmente nach bisegmentaler Spondylodese der Segmente C₄ auf C₆ im Vergleich mit den von PENNING angegebenen Normwerten

Segment	C ₁ /C ₂	C ₂ /C ₃	C ₃ /C ₄	C ₄ /C ₅	C ₅ /C ₆	C ₆ /C ₇	C ₇ /TH ₁
Verblockung C ₂ -C ₄	8°	0°	0°	16°	14°	12°	-
C ₅ -C ₇	16°	10°	14°	16°	0°	0°	
C ₆ -TH ₁	18°	8°	12°	12°	18°	0°	0°



Graphik 27: Graphische Darstellung der Medianwerte der gemessenen Beweglichkeit aller Segmente nach bisegmentaler Spondylosese der Segmente C₂ auf C₄, C₅ auf C₇ und C₆ auf TH₁ im Vergleich mit den von PENNING angegebenen Normwerten

9.8. Komplikationen

Insgesamt wurden postoperativ bei 4 Patienten Komplikationen (Recurrens- und Stellatumirritation) beobachtet. In unserer Nachuntersuchung sollte herausgefunden werden, inwiefern diese Komplikationen weiter bestehen.

Die entsprechenden Veränderungen des hornerschen Symptomkomplex (Ptosis, Miosis, Enophthalmus und Heiserkeit) wurden zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bei keinem der Patienten beobachtet. Die primär postoperativ beobachteten Symptome mußten einen passageren Charakter haben, d.h. womöglich durch Kompression während der Operation oder postoperativ durch Hämatom entstanden sein. CLOWARD (29) beobachtete nach der ventralen Sypondylosese bei 8% der Patienten eine transitive und bei 2% eine permanente Recurrensparese.

Nach einer Untersuchung von AEBI (1) betrug der prozentuale Anteil der Patienten mit einer transitiven Recurrensparese 2%. Materialbruch wurde bei zwei der Nachuntersuchten festgestellt (vgl.9.6.2). Spondylophyten und Spangenbildung sind insgesamt bei 10 Patienten zu verzeichnen (vgl.9.6.3).



Abbildung 1

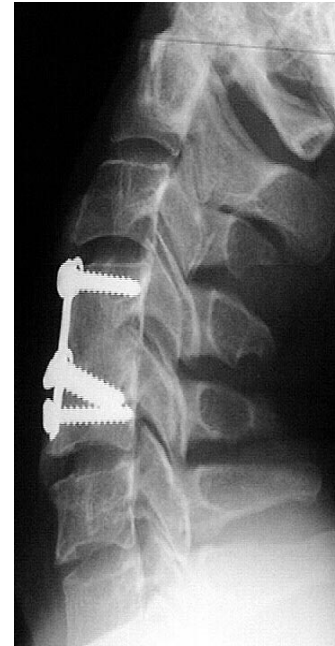


Abbildung2

Auf **Abb. 1 und 2** sind die prä- und postoperativen Aufnahmen einer 34 jährigen Patientin nach einem Verkehrsunfall zu sehen. Die präoperative Aufnahme zeigt eine Fraktur der Vorderkante des HWK 4 und eine discoligamentäre Instabilität C₄/C₅. Die postoperative Aufnahme zeigt eine knöchern konsolidierte monosegmentale Spondylodese.



Abbildung 3

Abb.3 veranschaulicht das Nachuntersuchungsergebnis einer Densfraktur bei einem 40 jährigen Patienten nach einem Verkehrsunfall. Die Fraktur wurde durch ventrale Verschraubungen nach BÖHLER und MAGERL stabilisiert.



Abbildung 4

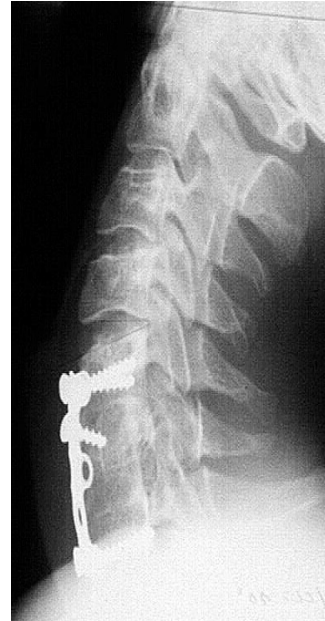


Abbildung 5

Abb. 4 und 5 zeigen die prä- und postoperativen Ergebnisse eines 27 jährigen Patienten nach einem Verkehrsunfall. Die präoperative Aufnahme beschreibt eine Wirbelkompressionsfraktur mit sagittaler Spaltbildung und Einengung des Spinalkanals in Höhe C6 mit incompletter Tetraplegie. Die Fraktur wurde nach der Entfernung des frakturierten Wirbelkörpers mit einer bisegmentalen Spondylodese und einem tricorticaelem Span stabilisiert. Es fand hier eine vollständige Remission der incompletten Tetraplegie nach der Operation statt.

X. Diskussion

Verletzungen der Halswirbelsäule gehören zu den Läsionen, die insbesondere bei Verkehrs-, aber auch bei Sportunfällen, hier insbesondere bei Badeunfällen, immer wieder auftreten. Nach MEYER (49) beträgt die Häufigkeit von Verletzungsursachen durch Verkehrsunfälle 42% und durch Sportunfälle bei 20,5%.

Ungefähr 80% der Halswirbelsäulenverletzungen sind im Bereich der unteren Halswirbelsäule C_{2/3} bis C₇/TH₁ vorzufinden (1, 13, 49). Nur 27% der Halswirbelsäuleverletzungen treten ohne neurologische Ausfälle, 32% mit kompletten und 41% mit inkompletten und radikulären neurologischen Defiziten auf (49).

Verletzungen der Halswirbelsäule mit neurologischen Ausfällen machen etwa 55% aller Verletzungen der Wirbelsäule aus. Somit stellen die Halswirbelsäulenverletzungen das Hauptkontingent der Wirbelsäuleverletzungen mit neurologischen Defiziten dar. Diese Tatsache ergibt sich aus den besonderen anatomischen und funktionellen Gegebenheiten der Halswirbelsäule.

Das Behandlungsziel jeder Wirbelsäulenverletzung ist, dem Patienten einen schmerzfreien, beweglichen und leistungsfähigen Hals-Nacken-Bereich ohne neurologische Ausfallerscheinungen zu gewährleisten.

Allerdings kann bis heute nicht von einer allgemein akzeptierten Lehrmeinung in Hinblick auf die Wahl des Zugangsweges gesprochen werden. Innerhalb der in diesem Zusammenhang stattfindenden kontroversen Diskussion stellt die ventrale Spondylodese bei Halswirbelsäulenverletzungen von C₂ bis C₇ seit den Publikationen von ROBINSON und SMITH (60) eine Form der Standardtherapie dar, deren Wirksamkeit ebenfalls umstritten ist. Deren Vorteil kann darin gesehen werden, daß sie ein geringeres Risiko in Bezug auf neurologische Komplikationen darstellt, als dies von der Möglichkeit des dorsalen Vorgehens behauptet werden kann. Weiterhin bietet die ventrale Spondylodese einen schnelleren Zugang mit geringem Blutverlust sowie eine rasche und vollständige Dekompression des Spinalkanals bei Einengung durch Wirbelkörper- oder Diskusmaterial. Ihr Nachteil kann in Zusammenhang mit verhakten Luxationen der dorsal gelegenen Gelenkfortsätze darin liegen, daß diese Gelenkfortsätze eventuell nicht reponiert werden können, wodurch ein zusätzlicher dorsaler Zugang als notwendig erachtet werden kann.

Anhand der Nachuntersuchungsergebnisse ließ sich feststellen, daß die aufgetretenen Verletzungen der Halswirbelsäule nicht als homogen charakterisiert werden können, vielmehr bestehen teilweise gravierende Unterschiede, sowohl in Hinblick auf unmittelbar nach dem Unfall aufgetretene Symptome, als auch in Bezug auf die Ergebnisse der Längsschnittstudie. So konnte festgehalten werden, daß innerhalb der einzelnen Diagnosegruppen oft die gesamte Bandbreite der Symptomatik vorfindlich war, daß aber auch im Vergleich der gebildeten

Gruppen miteinander deutliche Differenzen bestehen, beispielsweise, in Bezugnahme auf die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Ausprägungsgrade von Schmerzen und Beeinträchtigungen. Die Ergebnisse dieser Studie sollen im folgenden diskutiert und mit der Literatur verglichen werden.

Zur Stichprobe

In den Jahren 1991 bis 1996 nahmen wir bei 25 Patienten mit Verletzungen der Halswirbelsäule eine Indikation zur operativen Stabilisierung vor. Bei 4 Patienten waren der Dens axis, bei 21 Patienten die untere Halswirbelsäule C₃ – C₇ betroffen.

In Hinblick auf die Parameter der in der Literatur beschriebenen Populationen (1, 25) lässt sich sagen, daß in Anbetracht des Durchschnittsalters der von uns untersuchten Patienten (33,2 Jahre) von einem vergleichbaren Verteilungsmuster ausgegangen werden kann.

Insgesamt konnten 19 Patienten nachuntersucht werden, es mussten also 6 Ausfälle (missings) in Bezug auf die ursprüngliche Stichprobengröße verzeichnet werden. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Nachuntersuchung der tatsächlichen Stichprobe im Einzelnen diskutiert.

Beschwerden.

Schmerzen und Funktionsbeeinträchtigungen gehören neben neurologischen Defiziten zu den unmittelbar von den Patienten wahrgenommenen Unfallfolgen. Die meisten Nachuntersuchten, 11 von 19 (58%), gaben an, keine Schmerzen zu haben, was sich mit den Ergebnissen anderer Studien deckt (1, 14). Dennoch ließ sich bei denen, die über belastungsabhängige Schmerzen klagten, eine deutliche Häufung der Beschwerden bei Patienten mit bisegmentalen Fusionen finden. In der Untersuchung von BLAUTH (14) litten 40 von 57 Patienten niemals unter Ruheschmerzen, 19 waren auch unter Belastung wie längerem Überkopfarbeiten oder Lesen vollständig beschwerdefrei.

Das Schmerzempfinden ist sehr subjektiv und somit für einen Vergleich mit Angaben aus der Literatur wenig geeignet. Ob die subjektiv angegebenen Beschwerden tatsächlich mit der Verletzung der Halswirbelsäule oder gar mit der Operation zusammenhängen, ist sehr fraglich, da derartige Beschwerden erfahrungsgemäß auch von Patienten angegeben werden, bei denen kein Trauma der Halswirbelsäule vorlag. So hatte beispielsweise. in einigen Fällen die durch das Lebensalter bedingte Degeneration einen starken Einfluß auf die Schmerzempfindlichkeit, wobei diese Kompensation in Form von Abnutzungserscheinungen möglicherweise. auch aufgetreten wäre, wenn die Patienten ihre Verletzung nicht gehabt hätten.

Bei unserer Nachuntersuchung nahm die Häufigkeit der subjektiv angegebenen Beschwerden um so mehr zu, je mehr Segmente überbrückt worden waren. Das gleiche wurde ebenfalls von ROBINSON (55) berichtet. Denn durch vermehrten Verschleiß der unverblockten Segmente, der dadurch zustande kommt, daß diese die verlorengegangene Beweglichkeit zu kompensieren versuchen, nehmen die belastungsabhängigen Schmerzen zu.

Nach Angaben von AEBI (1, 4) klagten etwa 25% der Patienten nach einer ventralen Spondylodese über dauernde Schmerzen.

Klinische Untersuchung

Bewegungsschmerzen

10 von 19 Patienten verspürten bei den Untersuchungen keine Schmerzen. Es lassen sich dennoch bei den Patienten, die während der Befragungangaben, Schmerzen zu haben, Abhängigkeiten bzw. Zusammenhänge mit der Art und Weise der Verletzungen konstatieren. Es zeigte sich, daß die subjektiven Beschwerden bei den Patienten unspezifisch, d.h. unabhängig von der Verletzungskonstellation, auftraten. Allerdings ließen sich während der Untersuchung Schmerzen durch bestimmte Manipulationen provozieren, die eine besondere Spezifik aufwiesen und so die Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen den Beschwerden und den Halswirbelsäulenverletzungen als Ursache bekräftigt werden konnte.

Bei unserer Nachuntersuchung wurde festgestellt, daß Patienten mit einer Densverschraubung und einer bisegmentalen Fusion die höchsten Werte auf den betreffenden (Schmerz-)Skalen einnehmen. Die meisten Patienten kamen sowohl bei den Druck-/Klopfschmerzen als auch bei den Zug-/Stauchungsschmerzen aus der Gruppe der Kompressionsfrakturen bzw. der bisegmentalen Fusionen (21%) und aus der Gruppe der Densfrakturen (15,8%).

Bewegungsmessungen

Durch die Analyse des Ausmaßes der Bewegungseinschränkung sollten die seitens des Patienten wahrgenommenen Funktionseinschränkungen objektiviert werden. Die Ergebnisse der Bewegungsmessung bei unserer Nachuntersuchung zeigten, daß besonders die Fähigkeit zur Seitenneigung sowohl in der gesamten Untersuchungsgruppe als auch in allen nach der Anzahl der spondylodesierten Segmente differenzierten Subgruppen eingeschränkt war. Außerdem machen unsere Ergebnisse deutlich, daß die durch die spondylodesierten Segmente verlorengegangene Beweglichkeit in Seitenneigungsrichtung von den übrigen, noch beweglichen Wirbelsegmenten nicht kompensiert werden kann. Bei 84,2% der nachuntersuchten Patienten war die Seitenneigung durchschnittlich um 1/3 eingeschränkt, d.h.

sie erreichten den untersten Normwert von 45° nicht. ARAND et. al (9) ermittelten den prozentualen Anteil der Einschränkung für die laterale Biegung mit 20% und BLAUTH et. al. (14) mit 50%.

Die Messung der übrigen Bewegungsrichtungen (Rotation, Flexion/Extension) veranschaulichen, daß die mittleren Werte der gesamten Stichprobe im Normbereich liegen.

Obwohl die Medianwerte im Gesamtkollektiv im Normbereich liegen, bestehen doch gewisse Unterschiede in Hinblick auf die unterschiedliche Anzahl verblockter Segmente.

Aufgrund der Spondylodese war die Rotation nach rechts bei 47,3% der Patienten im Durchschnitt um 20,5° (1/3 der Norm) eingeschränkt. Bei der Rotation nach links war eine Einschränkung bei 36,8% der Patienten zu beobachten. Hier betrug der Verlust der Beweglichkeit im Durchschnitt 20° (1/3 der Norm). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch TSCHERNE et al. (65). Nach der Untersuchung von TSCHERNE (65) lag der prozentuale Anteil der Patienten mit Einschränkung der Beweglichkeit zwischen 1-20% bei 48,8%; zwischen 20-35% bei 23,2%; zwischen 35-50% bei 13,4% und über 50% bei 14,6%. Nach der Untersuchung von AEBI (1) wurden bei 35% der Patienten nach einer ventralen Spondylodese hinsichtlich der Rotation und Flexion/Extension eine Bewegungseinschränkung beobachtet. Anhand einer Nachuntersuchung konnte MESTADGH (48) die Einschränkung der Beweglichkeit der Halswirbelsäule um rund 1/4 objektivieren. ARAND (9) stellte ebenfalls Funktionseinbußen der fusionierten Patienten gegenüber den Gesunden für die axiale Rotation um 18% fest.

Es lässt sich nun festhalten, daß die von uns erzielten Ergebnisse schlechter ausfallen als die von MESTADGH (48) und ARAND (9). Diese Diskrepanz ist damit zu erklären, daß es sich bei der Untersuchung beider Autoren ausschließlich um die posttraumatischen Nachuntersuchungen der unteren Halswirbelsäule (ohne Dens) handelt (Als eine anders gelagerte Ursache könnte möglicher Weise auch die der Logik der aposteriori-Wahrscheinlichkeiten zugrunde liegende Annahme betrachtet werden, daß nämlich der Stichprobenumfang einen Einfluß auf die Untersuchungsergebnisse ausübt). Nach der Untersuchung von BLAUTH (14) betrug der prozentuale Anteil der Einschränkung für die Rotation 15%.

In den nach Anzahl verblockter Segmente differenzierten Patientengruppen lag der prozentuale Anteil der von uns untersuchten Patienten mit Bewegungsverlust für beide Gruppen (mono- und bisegmentale Fusionen) identisch bei 50%. Wir konnten also keinen Zusammenhang zwischen der Anzahl der verblockten Segmente und der Ausprägung des Rotationsverlustes feststellen. Bei unserer Untersuchung lag der Medianwert des im Gesamtkollektiv bei Flexion und Extension gemessenen Winkelgrads bei 40°. Das heißt, daß die Flexion im Gesamtkollektiv im Normbereich, aber die Extension im Gesamtkollektiv um 8,8% niedriger lag. Insgesamt war bei

7 Patienten (36,7%) eine Einschränkung sowohl der Flexion als auch der Extension nachzuweisen.

4 Patienten (21%) wiesen eine isolierte Einschränkung der Extension auf.

Die mittlere Einschränkung lag bei 9,2° (26,3% der Norm) für Flexion und 12,2° (27,1% der Norm) für die Extension. ARAND et al. (9) ermittelten den prozentualen Anteil der Einschränkung für die Flexion um 25%, für die Extension um 22%. Bei der Nachuntersuchung von BLAUTH (14) waren die Flexion und Extension um etwa 25% eingeschränkt.

In der nach Anzahl der überbrückten Segmente geordneten Patientengruppen waren insgesamt 9 Patienten mit einer monosegmentalen, 6 Patienten mit bisegmentalen Fusionen und 4 Patienten mit Densverschraubungen.

3 Patienten (23%) aus der Gruppe monosegmentaler Fusionen befanden sich bei der Messung der Flexion und Extension unterhalb der Normwerte. Bei 2 Patienten (15,4%) wurde eine isolierte Einschränkung der Extension festgestellt.

Die mittlere Einschränkung der Flexion betrug 15° (42,2% der Norm), die der Extension 17° (37,7% der Norm).

Im Kollektiv der bisegmentalen Fusionen waren bei 4 Patienten (66,7%) Flexion und Extension eingeschränkt. 2 Patienten hatten eine Extensionseinschränkung, wobei die Flexion im Normbereich lag. Diese Befunde zeigen, daß 2/3 der Patienten nach bisegmentalen Fusionen eine Einschränkung der Flexion, und alle Patienten eine Einschränkung der Extension entwickelten. Dabei fällt die Abhängigkeit der Probleme bei Extension und Flexion von der Anzahl der verblockten Segmente ins Auge. Dieser lineare Zusammenhang kann folgendermaßen beschrieben werden: je mehr Segmente spondylodesiert werden, desto eher ist die Beweglichkeit eingeschränkt. Schlußfolgernd konnte die Forderung von GELEHRTER (33), die Fusionsstrecken auf das notwendige Minimum zu beschränken, bekräftigt werden.

Neurologie

Die Ergebnisse der Neurologie spielen für das weitere Leben des Patienten eine entscheidende Rolle. Die neurologischen Ausfälle stellen die gravierendsten der zurückbleibenden Beeinträchtigungen nach dem Unfall dar.

Den neurologischen Status erfaßten wir nach einem Schema, dem "Sunnybrook Cord Injury Scale". Von den 10 Patienten, die nach dem Unfall neurologische Ausfälle hatten (vgl. S. 36), konnte bei 9 Patienten durch eine Nachuntersuchung der aktuelle Befund der Neurologie erfaßt werden.

Die Zahl der Patienten mit neurologischen Ausfällen reduzierten sich zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung auf 3. Bei 2 Patienten mit kompletter Tetraplegie konnte eine Verbesserung des Befundes um eine Stufe verzeichnet werden: von kompletter motorischer und sensibler

Lähmung zu einer kompletten motorischen und inkompletten sensiblen Lähmung. Zum anderen konnte sich ein Patient, der zum Zeitpunkt der ersten Untersuchung ein neurologisches Defizit aufwies (Stufe 2), bis zur Nachuntersuchung um eine Stufe verbessern.

Bemerkenswert erscheint die Normalisierung der Neurologie bei 2 Patienten, die in Stufe 3 und 4 klassifiziert waren. Bei den 4 Patienten mit radikulärer Symptomatik trat zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung eine vollständige Normalisierung des Befundes auf.

AEBI (4) ermittelte von 68 Patienten mit neurologischen Defiziten eine neurologische Befundverbesserung bei 31 Patienten. BLAUTH (14) fand heraus, daß sich die neurologischen Befunde nach dem FRANKEL-Score bei 67,6% der Patienten mit neurologischen Defizit um mindestens eine Kategorie verbesserten.

KORTMANN et al. (40) beobachteten bei 22 Patienten mit komplettem Transversalsyndrom in nur 2 Fällen Sensibilitätsgewinne. Im Gegensatz dazu wird beim inkompletten Transversalsyndrom eine Besserung des neurologischen Befundes bei fast 2/3 der Patienten verzeichnet.

Unsere Untersuchung vermittelt eine gute Prognose der neurologischen Ausfälle bei den meisten Patienten, was sich dadurch ausdrückt, daß ein Großteil der Nachuntersuchten (6 von 10) sich nach der Operation um mehrere Kategorien verbessern konnte, und der überwiegende Teil keine neurologischen Defizite mehr aufwies.

Außerdem machen unsere Ergebnisse deutlich, daß durch eine ventrale Dekompression des Spinalkanals auch primär komplette Querschnittsyndrome eine zumindest teilweise Rückbildung erfahren können, was die Aussagen von ANDERSON (7) und BOHLMANN (23, 24, 25, 26) bestätigt.

Radiologische Befunde

Morphologie der spondylodesierten Halswirbelsäule

Die von den Patienten beklagten und anhand der klinischen Untersuchung objektivierten Beschwerden finden häufig ihr radiologisch morphologisches Korrelat bei der Betrachtung der Halswirbelsäule mit Hilfe von Röntgenaufnahmen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung müssen deshalb hier diskutiert werden.

Die Auswertung der Röntgenbilder unserer Untersuchung zeigt, wie auch andere Studien (1, 4, 14, 21, 22, 23, 24, 25, 65) ein sehr gutes Fusionsverhalten des transplantierten autogenen Knochenspanes bzw. eine sehr gute Konsolidierung der Densfrakturen. 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. Eine Spanpseudarthrosebildung oder eine persistierende Instabilität wurde bei keinem unserer Patienten beobachtet. Die von verschiedenen Autoren (41, 51, 61) mitgeteilten Komplikationen in Form von Redislokation des Spanes und kyphotischer Deformierung wurden in unserer Nachuntersuchung nicht beobachtet. Eine Reoperation mußte innerhalb der ersten Woche bei einem Patienten wegen einer Redislokation des Fragmentes, bedingt durch eine nicht optimal liegende Schraube, erfolgen. Nach der Reoperation heilte die Fraktur ohne Komplikationen.

Bei den Metallimplantaten beobachteten wir die typische Materialbruch-Komplikation nur bei 2 Patienten, die klinisch zu keinen Folgen führte. Die Schraubenlockerung, die von den Autoren MORSCHER (50), BALMASEDA (12) und ROCHE (56) als recht häufige Komplikation mit entsprechenden Folgekomplikationen (Ösophagusperforation) erwähnt wurde, haben wir bei unserer Nachuntersuchung nicht feststellen können. Diese Ergebnisse zeigen, daß die alleinige ventrale Spondylodese in der Lage ist, die instabile Situation an der Halswirbelsäule unter Kontrolle zu bringen. Die experimentelle biomechanische Untersuchung von ULRICH et al. (67) zeigt, daß die alleinige ventrale H-Platten-Spondylodese im Vergleich zur dorsalen Spondylodese schlecht abschneidet. Weiterhin fand er heraus, daß die alleinige dorsale Spondylodese mit Haken-Platte oder in Kombination mit der ventralen H-Platten-Spondylodese in der Lage ist, eine garantierte Stabilität ohne äußere Fixation zu gewährleisten. Unsere Ergebnisse stehen aus folgenden Gründen in starkem Kontrast zum Befund ULRICHS:

1. Bei der Untersuchung von ULRICH et al. (67) handelt es sich um eine Vitro-Untersuchung, bei der der relevante Einfluß der das Skelettsystem stabilisierenden Muskulatur nicht geprüft werden kann.
2. Die Meßergebnisse biologischer Präparate in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und Lebensweise der Probanden weichen häufig voneinander ab.

Darüberhinaus müssen anhand unserer Ergebnisse die Nachteile des Plattensystems nach OROZCO, die von MORSCHER (50, 63) beschrieben wurden, diskutiert werden.

MORSCHER (50, 63) hatte beklagt, daß keine winkelstabile Verbindung zwischen Platte und Schraube besteht, so daß die Stabilität der Osteosynthese unzureichend sei. Folglich käme es zur Platten- und Schraubenlockerung. Unsere Ergebnisse zeigen aber, daß es bei keinem der Patienten zu einer Lockerung des Osteosynthesematerials gekommen ist. Allerdings ist das Plattensystem nach OROZCO tatsächlich winkelinstant. Deswegen ist es erforderlich, daß die dorsale Kortikalis des Wirbelkörpers von der Schraube mitgefaßt wird (16, 17, 21).

Aus mechanischer Überlegung kommt es, wenn man frühzeitig die aktive Bewegung frei gibt, besonders bei Flexion und Extension zu einer gewissen Hebelwirkung zwischen den spondylodesierten Wirbelkörpern und der Platte. Diese wiederholte Hebelwirkungen führen ihrerseits zu einer starken mechanischen Beanspruchung des Metallimplantates, die unter Umständen zur Lockerung der Schrauben oder gar zum Plattenbruch führen.

Wartet man aber die Freigabe der aktiven Beweglichkeit der Halswirbelsäule bis zum Zeitpunkt der Konsolidierung des eingebrachten Spanes ab - in der Regel 12 Wochen - dann verliert sich die Hebelwirkung zwischen den spondylodesierten Wirbelkörpern, da die beiden Wirbelkörpern mit dem Span fest eingewachsen sind, und so bei der Belastung als ein Wirbelkörper wirken.

Zusammengefaßt sind wir der Meinung, daß die Winkelstabilität bei der ventralen Spondylodese, vor allem in der Konsolidierungsphase sehr wichtig ist. Wenn man die Stabilisierung nach dem Orozco-System durchführt, sollte man die aktive Bewegung der Halswirbelsäule postoperativ nicht vor der 12. Woche freigeben. Da in dieser Phase mit Implantatlockerungen und -brüchen zu rechnen ist, sollte man, zumindest bis zum sicheren Einwachsen des Knochenspanes, um Materialbruch oder -lockerung zu erfassen, Röntgenkontrollen durchführen.

In unserer Nachuntersuchung ist die recht große Zahl von beobachteten Spondylophyten und Spangenbildungen auffallend. Insgesamt waren diese Veränderungen bei 10 von 19 Patienten (52,6%) zu verzeichnen. Zur Ursachenklärung sind mehrere Faktoren in Betracht zu ziehen. Zum einen stellt die ventrale interkorporelle Sypondylodese einen Eingriff dar, der die Bewegungsphysiologie der Halswirbelsäule verändert und dadurch zu vorzeitigem und vermehrtem Verschleiß führt. Darüber hinaus werden insbesondere bei Patienten höheren Lebensalters immer degenerative Veränderungen einbezogen, die nicht im Zusammenhang mit dem Trauma oder der Operation stehen; was sich in einigen Fällen darin verdeutlicht, daß die Spondylophyten in der gesamten Wirbelsäule zu sehen waren. Die meisten Veränderungen waren jedoch in den Nachbarsegmenten der Spondylodese zu sehen. MÄHRING (46) ermittelte, von 80 an die monosegmentale Spondylodese benachbarten Segmente eine derartige Veränderungen bei 43,8%, hingegen nur 4,7% bei den nicht benachbarten Segmenten. In der Nachuntersuchung von BLAUTH (14) betrug der prozentuale Anteil der Segmentveränderungen im Rahmen einer Spondylophyten- und Spangenbildung 47,4%.

Die klinische Untersuchung ergab bei einigen Patienten die deutlich eingeschränkte Beweglichkeit der Halswirbelsäule. Um diese Einschränkung näher zu verifizieren, wurden die radiologische Gesamtbeweglichkeit und die Beweglichkeit der die Spondylodese benachbarenden Segmente in Flexion und Extension mit einer nach PENNING (53) angegebenen Methode bestimmt.

Die Ergebnisse der gesamten Stichprobe veranschaulichen eine Einschränkung der Gesamtbeweglichkeit der Halswirbelsäule. Zudem stellte sich heraus, daß das Ausmaß der Einschränkung der gesamten Halswirbelsäule in Flexion und Extension bei den Ausmessungen der Röntgenbilder wesentlich größer war als bei der klinischen Untersuchung. Das ist darin begründet, daß die Beweglichkeit der Verbindung Occiput/C₁ mit der PENNINGschen Methode im Rahmen einer radiologischen Messung im Gegensatz zur klinischen Untersuchung nicht berücksichtigt werden kann. Eine Hypermobilität der die Spondylodese benachbarenden

Segmente sahen wir bei keinem Patienten. Die von PENNING (53) mit sehr großer Streuung angegebenen Normwerte der Segmentbeweglichkeit wurden in keinem Fall überschritten. Das entspricht den Ergebnissen von MÄHRING (46) und BLAUTH (14), die im Gegensatz zu MESTDAGH (48) ebenfalls keine Hypermobilität in den Nachbarsegmenten feststellen konnten. Eine Segmentlockerung der benachbarten Segmente aufgrund der kompensatorischen Hypermobilität wurde nicht beobachtet.

Bei unserer Nachuntersuchung wurde festgestellt, daß die Medianwerte der radiologisch ermittelten Gesamtbeweglichkeit im Gesamtkollektiv unterhalb der Norm lagen. Das zeigt, daß die durch Verblockung verlorene Beweglichkeit ohne Hilfe des Segmentes C₀/C₁ nicht ausgeglichen werden konnte.

XI. Zusammenfassung

Die Nachuntersuchungsbefunde ergaben zufriedenstellende Ergebnisse in Hinblick auf die Evaluation der ventralen interkorporellen Spondylodese nach traumatischen Läsionen der Halswirbelsäule. Es zeigt sich, daß die ventrale Spondylodese ein sicheres und relativ komplikationsarmes Verfahren zur Behandlung der traumatischen Läsion der Halswirbelsäule darstellt. (Die Rekurrensirritationen, die postoperativ eingetreten waren, begründeten sich durch ödematose Genese oder postoperative Hämatome). Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung wies keiner der Patienten eine entsprechende Symptomatik (Ptosis, Miosis, Enophthalmus und Heiserkeit) auf. 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.

Insgesamt stimmen unsere Ergebnisse weitgehend mit denen aus der Literatur überein.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse wird ein linearer Zusammenhang in Hinblick auf die Anzahl der verblockten Segmente als einem wesentlichen Parameter für die Prognose deutlich: Je mehr Segmente man überbrückt hatte, desto schlechter fielen die Befunde hinsichtlich der subjektiven Beschwerden, der Funktion und der Beweglichkeit aus.

Für das Erzielen eines guten Ergebnisses spielt, zusätzlich zum Operationsverfahren, die Erfahrung des Operateurs eine entscheidende Rolle.

Literaturverzeichnis

1. Aebi, M., Böhler, J. Zäch, G Morscher, E (1986) Indication surgicaltechnique and results of 100 surgically treated fractures and fracture-dislocations of the cervical spine. Clin. orthop.203: 244-257.
2. Aebi, M., J. Webb: The Spine. In Müller, M. E., M. Allgöwer, R. Schneider, H. Willenegger (1991): Manual of Internal Fixation, 3rd ed. Springer, Berlin.
3. Aebi, M., Nazarian, S (1987): Klassifikation der Halswirbelsäulenverletzungen. Orthopäde 16: 27-36
4. Aebi, M., Zuber,K, Marchesi, D (1991): The treatment of cervical spine injuries with anterior plating. indications, Techniques, and Results Spine 16: 38-45.
5. Albee, F.H. (1991) : Transplantation of a portion of tibia in to the spine for Pott´s disease. J. A. Med. Asss. 57: 885.
6. Allen, B.L., Ferguson, RL, Lehmann, ThR (1982): A mechanic classification of closed, indirect fractures and dislocations of the lower cervical spine. Spine 7: 1-27.
7. Anderson, LD, D´Alonzo, RT (1974): Fractures of the odontoid proces of the axis. J. Bone Jt. surg.(Am) 56: 1663-1674.
8. Apley, AG (1970): Fractures of the spine. Ann R Coll surg. Engl. 46: 210-223.
9. Arand, M, Mutschler, W., Ulrich, Ch. : Funktionseinschränkung nach ventralen und dorsalen Spondylodesen der traumatisierten unteren Halswirbelsäule. In Kalf R (Hrsg) Erkrankung und Verletzung der Wirbelsäule. Hans Huber, Bern, Göttingen, Toronto, Seattle, PP 52-55
10. Argenson, C., J. Lovet, L. sanouiller, F. de Peretti (1988): Traumatic rotatory displacement of the lower cervical spines. Spine 13: 767-773.
11. Bailey, RW, Badgley, CE (1960): Stabilisation of the cervical Spine by anterior fusion. J. Bone and Joint Surg 42: 565-594
12. Balmaseda, M.T., Jr. Pillioni, D.J. (1985) : Esophagocutaneous fistula in spinal cord injury: A complication of anterior cervical fusion. Arch. Phys. Med. Rehabil. 66: 783- 784.
13. Bedbrook, G.M. (1979): Spinal injuries with tetraplegia and paraplegia. J.Bone Jt. surg.61 B: 19267-284.
14. Blauth, M. et al. (1996) : Langzeit Ergebnisse der ventralen Spondylodese der unteren Halswirbelsäule bei 57 Patienten. Unfallchirurg 99: 925-939.
15. Böhler, J (1982) : Anterior stabilisation for acute fractures and non-unions of dens. J. Bone Jt. surg. 64A: 18-26.
16. Böhler, J. (1971): Operative Behandlung von Halswirbelsäulenverletzungen. Hefte Unfallheilkunde 108: 132-136.
17. Böhler, J (1977): Operative Behandlung unstabiler Frakturen und Luxationsfrakturen der Halswirbelsäule. Unfallchirurgie 3: 25-31.

18. Böhler, L (1932) : Die Behandlung der Wirbelbrüche. In: arch.klin.Chir. -Berlin173: 842
19. Böhler, L.: Die Technik der Knochenbehandlung. Band I, S. 340
20. Böhler, L.: Technik der Knochenbehandlung. Wien: Maudrich, 1929
21. Böhler,,J, Gaudernak, T (1980): Anterior plate stabilisation for fracture-dislocations of the lower cervical spine. J. Trauma 20: 203-205.
22. Bohlmann, H.H., Anderson, P.A. (1992) : Anterior Decompression and arthrodesis of the cervical spine Part I Long-Term Motor improvment. J.Bone Jt. surg. 74A: 671-682.
23. Bohlmann, H.H., Anderson, P.A. (1992) : Anterior Decompression and arthrodesis of the cervical spine Part II Long-Term Motor improvment. J.Bone Jt. surg. 74A: 683-692.
24. Bohlmann, H.H., E. Boada (1983): Fractures and dislocations of the lower cervical spine. In The Cervical Spine Research Society: The Cervical Spine. Lippincott, Philadelphia.
25. Bohlmann, H.H. (1979): Acute fractures and dislocations of the cervical spine. An analysys of three hundred hospitalized patients and review of litretature. J.Bone Jt. surg. 61A: 1119-1142.
26. Bohlmann, H.H.: Complications and pitfalls in the treatment of acute spine cord injuries. In Tator, C.H.: Early Managment of acute spinal cord injury.
27. Breasted, J.H. (1930): The Edwin-Smith surgical papyrus. Chicago, Bd. 1: 329
28. Cloward, R.B. (1961) : Treatment of acute fractures and fracture-dislocations of the cervical spine by ventral-body fusion. J. Neurosurg. 18: 201-209.
29. Cloward, R.B. (1958): The anterior approach for removal of ruptured cervical discs. J. Neurosurg., Chicago 15: 602.
30. Crutchfield,W.G. (1954) : Skeletal traction in treatment of injuries to the cervical spine. Amer. Med. Ass.-Chicago 29:155.
31. Effendi, B, Roy, D (1981): Fractures of the Ring of the atlas. J. Bone Jt. surg. 63 B: 316-327.
32. Gehweiler, JA, Clark, WM, Schaff, RE, Powers, B, Miller, D (1979): Cervical spine trauma: The commen combined conditions. Radiology 130: 77-86.
33. Gelehrte, G (1975): Bewegungsstabile Spondylodese bei Halswirbelverletzungen. Chir. Praxis 20: 613-618.
34. Gosch, HH, Gooding, E, Schneider, RC (1972): An experimental study of cervical spine and cord injuries. J. Trauma 12: 570.
35. Grob, D, Magerl, F (1987): Operative Stabilisierung bei Frakturen von C1 und C2. Orthopäde 16: 46-54.
36. Hadra, B.E. (1975) : Wiring of the vertebrae as a means of immobilization in fracture and potts disease. In: Medical Times and Register - Philadelphia 22 (1891), 423 (Reprint: Clin. orthop. 112: 4.

37. Hibbs, R.H. (1991) : An operation for progressive spinal deformities. NY. J. med. 93: 1013.
38. Hohman, D, Liebig, K (1987): Technik der ventralen Spondylodese an der Halswirbelsäule. Orthopäde 16: 62-69.
39. Holdsworth, F (1970): Fractures, dislocations, and fracture-dislocations of the spine. J. Bone Jt. surg.(AM) 52: 1534-1551.
40. Kortmann, H.-R, Wolter, Dmeinecke, F.-W, Eggers, Ch. (1986): Die Rückbildungstendenz neurologischer Schäden bei der operativen Sofortversorgung von Halswirbelsäulenverletzten mit Rückenmarksbeteiligung. Der Chirurg 57: 695-701
41. Kraus, D.R., Stauffer, S.E. (1975): Spinal cord injury as a complication of elective anterior cervical fusion. Clinical orthop.112: 130-141.
42. Lange, F (1910): Support of the spondylitic spine by means of buried steel bars attached to the vertebrae. Am. J. Orthop. surg.8: 344
43. Laus, M. G. Piganatti, D. Tigani, C. Alfonso, A. Giunti (1993) : Anterior decompression and fixation in fracture dislocations of the lower cervical spine. Spinal Journal: 37-45
44. Louis, R. (1987) : Der ventrale Zugang zur Halswirbelsäule. Orthopäde 16: 37-45
45. Magnus, G. (1929): Die Behandlung und Begutachtung des Wirbelbruches. - In: Münch. Med. Wschr. F: 27
46. Mähring, M (1988) : Segmentveränderungen der Halswirbelsäule nach zervikalen Spondylodesen instabiler Verletzungen. Unfallchirurgie 14: 247-258.
47. Mc Afee, P.C.(1991) : Cervical spine trauma. The adult spine: principles and practice Vol. 2 Raven, New York.
48. Mestdagh, M (1987) : Resultate der ventralen Spondylodese der Halswirbelsäule (C2-C7). Orthopäde 16: 70-80.
49. Meyer, Jr. p.R (1989): Surgery of the Spine. Churchill Livingstone, New York.
50. Morscher, E, Sutter, F, Jennis, M, Oleru'd, S (1986): Die vordere Verplattung der Halswirbelsäule mit dem Hohlschraubenplattensystem. Der Chirurg 57: 702-707.
51. Norrell, H., C.B. Wilson (1970): Early anterior fusion for injuries of the cervical portion of the spine. Am. Med. Ass. 214: 525-530.
52. Noyes, FR, De Lucas JL, Torvik PJ. (1974): Biomechanics of anterior cruciate ligament failure. J. Bone Jt. surg. 56 A: 236.
53. Penning, L (1978) : Normal movements of the cervical spine. AJR 130: 317-326.
54. Roaf R. (1972): International classification of spinal injuries. Paraplegia 10: 78-84
55. Robinson, RA, Walker, AE, Ferlic, DC Wiecking, DK (1962): The results of anterior interbody fusion of the cervical spine. J. Bone Jt. surg.44 A: 1569-1587.

56. Roche, M., F. Gilly, J.P. Carret, B. Guibert, G. Braillon, H. Dejour (1989): Perforation of the cervical Esophagus and hypopharynx complicating anterior surgery to the cervical spine. *Ann. Chir.* 43: 343-347.
57. Rorabeck, C. H., M. G. Rock, R. J. Hawkins et al. (1987): Unilateral facet joint islocation of the cervical spine: an analaysis of the results of treatment in 26 Patients. *Spine* 12: 23-27.
58. Schaffer, M. A., Doris, p. E. (1981): Limitation of the cross tabel lateral view in detecting cervical spine injuries a retrospective analysis. *Ann Emberg Med* 10: 508-512.
59. Schneider, M. (1990): *Traumatologie der Wirbelsäule*. Verlag Gesundheit GmbH, Berlin, 1. Auflage:13
60. Smith, G.W., Robinson, R.A (1958): The treatment of certain cervical spine disorders by anterior removal of the intervertebral discs. *J. Bone Jt. surg.*40A: 607-624.
61. Stauffer, E.S. (1977): Fracture-dislocations of the cervical spine. Instability and recurrent deformity following treatment by anterior interbody fusion. *J. Bone Jt. surg.* 59 A:45-48.
62. Stauffer, ES., E.G. Kelly (1977): Fracture-dislocations of the cervical spine. *J. Bone Jt. surg.* 59A: 45-48
63. Stoll, T.M., Morscher, E (1995): Die zervikale interkorporelle Spondylodese mit der Titan-Verriegelungsplatte. *Operative Orthopädie und Traumatologie* 7: 75-87.
64. Tator, C. (1982): *Early managment of acute spinal cord injury*. Raven Press, New York.
65. Tscherne, H, Illgner, A (1991): Die ventrale interkorpoelle Spondylodese der Halswirbelsäule. *Operative Orthopädie und Traumatologie*, Heft 3: 147-157.
66. Tscherne, H., Hiebler, G. Muhr, G. (1971): Zur operativen Behandlung von Frakturen und Luxationen der Halswirbelsäule. *Hefte Unfallheilkunde* 108: 142-144.
67. Ulrich, C., Wörsdörfer, O., Claes, L., Magerl, F. (1987): Comperativ study of the Stability of anterior and posterior cervical spine fixation procederes. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 106: 226-231.
68. Wachenheim, A., J.C. Dosch, G. Zöllner (1987): Röntgendiagnostik der traumatischen Instabilität der unteren Halswirbelsäule(C3-C7). *J. Trauma*: 20-26.
69. Whitley, JE, Forsyth, HF (1960): The classification of cervical spine injuries. *AJR* 83: 633-644.
70. Wittenberg, H.R., Bötzel, U, Russe, O (1987): Vergleichende Untersuchungen in Nativ-Röntgenbild, Computertomogramm und Kernspintomogramm bei Halswirbelsäulenverletzungen mit Rückenmarkbeteiligung. *Unfallheilk.-Berlin* 189: 651.

THESEN

1. Die in der Literatur als häufigste Ursache der Verletzungen der Halswirbelsäule thematisierten Verkehrs- und Sportunfälle konnten in der von uns untersuchten Population bestätigt werden.
2. Der Klassifikation der Halswirbelsäulenverletzungen nach AEBI/NAZARIAN (3) wurde hier gefolgt.
3. Bei Verdacht einer Halswirbelsäulenverletzung muß die Behandlungsstrategie bereits an der Unfallstelle erfolgen.
4. Zur Diagnostik von Halswirbelsäulenverletzungen sollten neben den konventionellen Röntgenaufnahmen das Computertomogramm und das Magnetresonanztomogramm verwendet werden.
5. Da das Behandlungsziel jeder Halswirbelsäulenverletzung die Gewährleistung eines schmerzfreien, beweglichen und leistungsfähigen Hals-Nacken-Bereiches darstellen sollte, liegt in der Evaluation eines Behandlungsverfahrens begründet, daß sowohl Schmerzen als auch Bewegungseinschränkungen adäquat erfaßt werden, d.h. die Methoden der Analyse derartiger Phänomene zureichend komplex gestaltet sind. So sollten subjektiv wahrgenommene Schmerzen möglichst objektiviert werden.
6. Der operative Eingriff sollte so frühzeitig wie möglich erfolgen, besonders wenn eine neurologische Symptomatik vorhanden ist, da dies im Sinne einer Rückbildungstendenz neurologischer Ausfälle von Vorteil ist.
7. Die instabilen Halswirbelsäulenverletzungen können je nach Art der Verletzung und Lokalisation durch ein vorderes, hinteres oder kombiniertes Vorgehen stabilisiert werden.
8. Die alleinige ventrale Spondylodese nach traumatischer Läsion der Halswirbelsäule kann als ein sicheres und relativ komplikationsarmes Verfahren betrachtet werden. Dies wurde durch unsere Untersuchung empirisch bestätigt.
9. Wenn die Stabilisierung der Halswirbelsäule mit Hilfe des OROZCO-Plattensystems durchgeführt wird, sollte die aktive Bewegung der Halswirbelsäule postoperativ nicht vor der 12. Woche freigegeben werden, da die Winkelstabilität bei der ventralen Spondylodese v.a. in der Konsolidierungsphase von besonderer Bedeutung ist.
10. Insofern der Patient keine Beschwerden hat, die auf die Lockerung oder den Bruch des Implantates zurückzuführen sind, sollte auf die Materialentfernung verzichtet werden, da so das unnötige Risiko einer weiteren Operation vermieden werden kann (intra- und postoperative Komplikationen).
11. Die von MORSCHER (50, 64) angenommene Lockerung des Osteosynthesematerials bei Verwendung des Plattensystems nach OROZCO kann durch das Mitverschrauben der dorsalen Kortikalis des Wirbelkörpers und durch die Zurückhaltung der frühzeitigen Freigabe der aktiven Bewegung der HWS vermieden werden.
12. Den Ergebnissen ULRICHs (68), wonach die ventrale Spondylodese im Vergleich zur dorsalen Spondylodese sich als ungünstigeres Verfahren erwiesen habe, ist aufgrund unserer Untersuchungsergebnisse zu widersprechen. Weiterhin sind die

dort konstatierten Ergebnisse insofern fraglich, als es sich um eine Vitro-Untersuchung handelt.

13. Die ventrale Spondylodese geht immer mit Bewegungsverlusten der Segmente in allen Ebenen einher.
14. Im Gegensatz zu in der Literatur vorfindlichen Annahmen, die Bewegungsaufhebung verblockter Segmente könnte durch benachbarte Segmente kompensiert werden, konnte ein solcher Kompensationsmechanismus in unserer Untersuchung nicht festgestellt werden. Weiterhin kann die These der Hypermobilität jener benachbarten Segmente nicht bestätigt werden.
15. Abhängig vom Verletzungsmuster muß die Verletzung mono-, bi- oder mehrsegmental stabilisiert werden, allerdings sollte darauf geachtet werden, die Fusionsstrecken auf das notwendige Minimum zu beschränken, da die Probleme bei Extension und Flexion in Abhängigkeit zur Anzahl der verblockten Segmente zu sehen ist: je mehr Segmente verblockt werden, umso eher ist von einer eingeschränkten Beweglichkeit zu sprechen.
16. Die Beweglichkeit der Occiput/C1-Verbindung kann mit der PENNINGschen Methode im Rahmen einer radiologischen Untersuchung im Gegensatz zur klinischen Untersuchung nicht berücksichtigt werden.
17. Die Anzahl verblockter Segmente kann allgemein als wichtiger Parameter für die Prognose betrachtet werden: je länger die Fusionsstrecke, umso schlechter fallen die Befunde hinsichtlich subjektiver Beschwerden und der Funktionen der Halswirbelsäule aus.
18. Durch die ventrale Dekompression des Spinalkanals kann es zu einer neurologischen Befundverbesserung kommen, sogar bei einem primär kompletten Querschnittsyndrom zumindestens zu einer teilweisen Rückbildung.

Danksagungen

Mein besonderer Dank

gilt Herrn Prof. Dr. med. habil. W. Otto für die Überlassung des Themas und sein Vertrauen.

Den kurvenreichen und von Sachgassen nicht ganzfreien Weg dieser Arbeit begleiteten von Anfang an bis zur Fertigstellung der Arbeit als kritischer Leser und – trotz meines Starrsinns – stets diskussionsbereite Freunde und Kollegen: OA. Dr. W. Wawro, OA. Dr. A. Mahlfeld (Uni. Magdeburg), Dip. Med. I. Marintschev, M. Horn (Arzt) und Schwester Kathrin Sosniski.

Für die tolerante und viele Freiräume gewährende Betreuung habe ich den Betreuer dieser Arbeit, Prof. Dr. med. W. Otto und insbesondere OA. Dr. med. Wawro, zu danken. In den ausgiebigen Diskussionen mit OA. Dr. Wawro hatte ich nie das Gefühl, einem distanzierten Betreuer gegenüberzusitzen. Eher schon einem gewissenhaften, toleranten und kritischen Berater.

Denjenigen, die mich in meinen angestrengten Lebensphasen ertrugen und mir zeigten, daß das Leben weitergeht, habe ich zu verdanken, daß ich nicht ganz zum "Kopffüßler" wurde, obwohl die Situation des öfteren im fortgeschrittenen Stadium war.

Ich danke nicht zuletzt den Patienten, denn ohne ihre Kooperation zur Nachuntersuchung, hätte diese Arbeit so nicht entstehen können.

Zollrain 5/109
06124 Halle/S.
Telefon 0345/8058107

Name: Zewdie
Vorname: Shimelis
Geburtsdatum: **05.02.1969**
Geburtsort: Beroda (Äthiopien)
Familienstand: verheiratet
Staatsangehörigkeit: äthiopisch
Konfession: äthiopisch-orthodox
Eltern: Vater: Zewdie Zegeye (gestorben 1972)
Mutter: Kelemwa Cherinet (Hausfrau)

Schulbildung:

1975-1982 von 1. - 8. Klasse in Beroda elementary School
1983-1986 von 9. - 12. Klasse in Debre Zeit Comprehensive High School

Hochschulbildung:

September 1987: Einreise in die ehemalige DDR zwecks Medizinstudium
1987-1988 Sprachkurs "Deutsch" am Herder-Institut in Leipzig
1988-1993 Studium der Humanmedizin an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Praktisches Jahr: 1993-1994

Innere Medizin: In gastroenterologischer Abteilung, Klinikum Kröllwitz
Wahlfach: Gynäkologie und Geburtshilfe für insgesamt 10 Wochen

6wochiger Kurs in Tropenmedizin an der Uni. Leipzig

Chirurgie: Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Klinikum Kröllwitz

Ärztliche Prüfungen :

1. Abschnitt 1991
 2. Abschnitt 1993
- 30.9.94 Abschluß des Studiums mit 3. Abschnitt der ärztlichen Prüfung

AiP:

01.11.94-30.4.96 in der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

Promotion

verteidigt am 24.10.00

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 übernommenen Daten sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.