

Aus der Klinik für Unfallchirurgie (Traumatologie)  
(Direktor: Prof. Dr. med. D. Havemann)  
im Zentrum Operative Medizin I des Klinikums  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**DIE OPERATIVE UND KONSERVATIVE THERAPIE DER  
WIRBELKÖRPERFRAKTUR - EINE  
EIN-JAHRES-NACHUNTERSUCHUNG**

Inauguraldissertation  
zur  
Erlangung der Doktorwürde  
der Medizinischen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

**MARTIN SPRENGEL**

aus Kiel

Kiel 1997

1. Berichterstatter: \_\_\_\_\_ Priv.-Doz. Dr. med. H.-J. Egbers

2. Berichterstatter: \_\_\_\_\_

Tag der mündlichen Prüfung: \_\_\_\_\_

zum Druck genehmigt, Kiel, den \_\_\_\_\_

gez. \_\_\_\_\_

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Einleitung</b>   | <b>2</b>  |
| <b>1.1. Einführung</b>   | <b>2</b>  |
| 1.1.1. Definition und Klassifikation von Wirbelsäulenverletzungen      | 2         |
| 1.1.2. Unfallmechanismen, Pathomechanik und -anatomie                  | 2         |
| 1.1.3. Neurologie  | 3         |
| 1.1.4. Die radiologische Stufendiagnostik bei Wirbelsäulenverletzungen | 4         |
| 1.1.5. Die konservative Therapie                                       | 5         |
| 1.1.6. Die operative Therapie  | 6         |
| 1.1.7. Laminektomie  | 10        |
| 1.1.8. Sonderindikationen  | 11        |
| 1.1.9. Übungsbehandlung  | 11        |
| 1.1.10. Unfallfolgen   | 11        |
| <b>1.2. Fragestellung und Zielsetzung der Untersuchung</b>             | <b>12</b> |
| 1.2.1. Qualitätssicherung  | 12        |
| <b>2. Patientengut und Methode</b>                                     | <b>13</b> |
| 2.1.1. Aufbau der Studie   | 13        |
| <b>2.2. Klinische Nachuntersuchung</b>                                 | <b>13</b> |
| 2.2.1. Inspektion und Anamnese   | 13        |
| 2.2.2. Körperliche Untersuchung  | 13        |
| <b>2.3. Radiologische Untersuchungen</b>                               | <b>15</b> |
| <b>2.4. Meßdatenerfassung und -auswertung</b>                          | <b>19</b> |
| 2.4.1. Statistik   | 19        |
| <b>3. Ergebnisse</b>   | <b>21</b> |
| <b>3.1. Patientengut</b>   | <b>21</b> |
| 3.1.1. Nachuntersuchung  | 21        |
| <b>3.2. Unfallursachen</b>   | <b>21</b> |
| 3.2.1. Unfallverhütende Maßnahmen                                      | 21        |
| <b>3.3. Verletzungen</b>   | <b>21</b> |
| 3.3.1. Neurologische Ausfälle  | 21        |
| 3.3.2. Wirbelkörperfrakturen: Lokalisationen und Typen                 | 22        |
| <b>3.4. Therapie</b>   | <b>23</b> |
| 3.4.1. Konservative Therapie   | 23        |
| 3.4.2. Operative Therapie  | 24        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.5. Radiologische Untersuchungen</b>  | <b>26</b> |
| 3.5.1. Wirbelkörpermaße im Nativ-Röntgen und Frakturindices                               | 26        |
| 3.5.2. Der Spinalkanal  | 29        |
| 3.5.3. MRT: Das Weichgewebe   | 30        |
| <b>3.6. Beschwerdebild</b>  | <b>31</b> |
| 3.6.1. Bewegungseinschränkungen   | 31        |
| 3.6.2. Schmerz  | 31        |
| 3.6.3. Arbeits-, Berufs- und Erwerbsfähigkeit   | 32        |
| 3.6.4. Liegedauer   | 32        |
| <b>3.7. Neurologie</b>  | <b>32</b> |
| <b>4. Diskussion</b>  | <b>33</b> |
| 4.1. Studiendesign und Statistik  | 33        |
| 4.2. Patientengut und Nachuntersuchung  | 33        |
| 4.3. Wirbelkörperfrakturen  | 33        |
| 4.3.1. Komplikationen   | 34        |
| 4.3.2. Interpretation der meßtechnischen Ergebnisse                                       | 34        |
| 4.4. MRT: Ein Weg zur gezielteren Therapieplanung ?                                       | 35        |
| 4.4.1. Die Bedeutung des hinteren Längsbandes der Wirbelsäule für den operativen Eingriff | 35        |
| 4.5. Die intraoperative Myelographie  | 36        |
| 4.6. Klinische Untersuchung und Anamnese  | 37        |
| 4.7. Indikationsstellung  | 37        |
| 4.8. Probleme der Datengewinnung und -auswertung  | 38        |
| 4.8.1. Gewinnung der Meßdaten   | 38        |
| 4.8.2. Rechnergestützte Datenauswertung   | 39        |
| <b>5. Zusammenfassung</b>   | <b>40</b> |
| <b>6. Literatur</b>   | <b>41</b> |
| <b>7. Anhang</b>  | <b>44</b> |
| 7.1. Kasuistik  | 44        |
| 7.1.1. Konservative Therapie  | 44        |
| 7.1.2. Operative Therapie   | 45        |
| 7.1.3. Das präoperative MRT   | 47        |

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| <b>7.2. Tabellen</b>   | <b>48</b> |
| <b>7.3. Danksagung</b> | <b>55</b> |
| <b>7.4. Lebenslauf</b> | <b>56</b> |

## Abkürzungen

|                      |  |
|----------------------|--|
| a.p.                 | anterior - posterior                                   |
| BWK                  | Brustwirbelkörper                                      |
| BWS                  | Brustwirbelsäule                                       |
| CT                   | Computertomographie, Computertomogramm                 |
| DF                   | Degrees of Freedom, = Freiheitsgrade                   |
| $\Delta\sigma$       | Differenz der Standardabweichungen                     |
| $\Delta\sigma_{x_m}$ | Differenz der Standardfehler                           |
| $\Delta x_m$         | Differenz der Mittelwerte                              |
| HWK                  | Halswirbelkörper                                       |
| HWS                  | Halswirbelsäule  |
| LWK                  | Lendenwirbelkörper                                     |
| LWS                  | Lendenwirbelsäule                                      |
| MRT                  | Magnetresonanztomographie, Magnetresonanztomogramm     |
| n                    | Fallzahl   |
| p, p0                | Wahrscheinlichkeit für das Zutreffen der Nullhypothese |
| pr                   | Einseitiges Signifikanzniveau für Pearson's $r$        |
| r                    | Pearson's $r$ (Korrelationskoeffizient)                |
| SWK                  | Kreuzbeinwirbelkörper                                  |
| $\sigma$             | Standardabweichung                                     |
| $\sigma_{x_m}$       | Standardfehler   |
| t                    | Prüfwert des t-Tests                                   |
| $x_m$                | Mittelwert   |

# 1. Einleitung

## 1.1. Einführung

### 1.1.1. Definition und Klassifikation von Wirbelsäulenverletzungen

Das Trauma der Wirbelsäule besteht in der Verletzung funktioneller Einheiten, wodurch Statik und Dynamik des Gesamtsystems Wirbelsäule gestört werden [Sances, Jr. et al. 1984]. Die kleinste funktionelle Einheit ist das Bewegungssegment, bestehend aus

- dem kaudalen Abschnitt eines Wirbelkörpers,
- der Bandscheibe sowie
- dem kranialen Abschnitt des sich kaudal anschließenden Wirbelkörpers mit seinen korrespondierenden Gelenkfacetten der dorsal gelegenen Wirbelanteile.

Die Einteilung der Wirbelkörperfrakturen folgt hier der von MAGERL et al. [Magerl und Engelhardt 1994] inaugurierten Klassifikation, die sich im Wesentlichen an den Unfallmechanismen orientiert. Eine andere verbreitete Klassifikation, das Drei-Säulen-Modell nach DENIS [Denis 1983], basiert auf der sagittalen Unterteilung der Wirbelsäule in drei funktionell unterschiedliche Abschnitte (Säulen), deren Verletzung bei der Beurteilung der Stabilität der Fraktur zugrundegelegt werden kann [Jend und Heller 1989; Heller et al. 1993].

### 1.1.2. Unfallmechanismen, Pathomechanik und -anatomie

Alle Wirbelsäulenverletzungen mit Ausnahme pathologischer Frakturen können als Rasanztraumen zusammengefaßt werden, da sie im Straßenverkehr oder bei Stürzen aus großer Höhe regelmäßig im Zusammenhang mit hohen Geschwindigkeiten auftreten [Otte et al. 1990]. Pathologische Frakturen sind Folge der Knochendestruktion bei malignen Erkrankungen oder allgemeiner Kalksalzminderung der Knochen bei Osteoporose.

Die häufigste Ursache für Verletzungen der Wirbelsäule ist das axiale Stauchungstrauma, das in den meisten Fällen mit einer Ventralflexionsbewegung der Wirbelsäule einhergeht. Impaktion, Spaltung oder Berstung von Teilen des Wirbelkörpers manifestieren sich je nach Betrag und Richtung der Gewalteinwirkung als Deck- oder Bodenplatteneinbrüche, Keilbrüche, komplette oder inkomplette Berstungsbrüche (Typ MAGERL A). Gemeinsam ist allen Varianten dieses Verletzungstyps, daß sie lediglich den Wirbelkörper betreffen.

Distractionsverletzungen (Typ MAGERL B) sind seltener. Sie treten entweder als Zerreißen dorsal gelegener Strukturen (Intervertebralgelenke, dorsale Bänder oder Wirbelbögen) auf, oder als Zerreißen von ventral (Wirbelkörper, Bandscheiben, ventrale Bandstrukturen) infolge einer Hyperextensionsbewegung der Wirbelsäule. Zusätzlich kann die Verletzung Komponenten der Kompressionsbrüche (MAGERL A) enthalten.

Die schwerste Form der Wirbelverletzung entsteht bei Kombination einer Rotationskomponente mit den vorgenannten Verletzungstypen oder mit einer Scherbewegung (Typ MAGERL C).

Durch die Verletzlichkeit der unmittelbar benachbarten Medulla bzw. Cauda equina resultieren aus den instabilen Wirbelfrakturen des Typs MAGERL B und C wesentlich häufiger neurologische Schäden als aus reinen Kompressionsfrakturen, bei denen der Spinalkanal unverletzt ist.

Eine Sonderform der Wirbelsäulenverletzung stellt das Schleudertrauma ( "whiplash injury" ) dar. Die zugrundeliegende Pathomechanik und -anatomie ist, entgegen häufig anzutreffenden Vermutungen, medizinisch und versicherungsrechtlich eindeutig definiert: Das Schleudertrauma wird durch eine sagittale Scherkraftbelastung der oberen Halswirbelsäule hervorgerufen [Erdmann 1973]. Typischerweise findet sich eine solche Belastung bei Insassen eines Kraftfahrzeugs, auf das ein anderes Fahrzeug auffährt. Der gewaltsamen Beschleunigung des Rumpfes (und damit der Wirbelsäule) steht das Massenträgheitsmoment des Kopfes entgegen, was zu einer Translationsbewegung zwischen Rumpf und Kopf und damit zu einer Überdehnung der stabilisierenden Bandstrukturen der Wirbelsäule führt.

In der Folge dieser Verletzung, insbesondere wenn sie unbehandelt bleibt, kann es zu lange andauernden, hartnäckigen Kopfschmerzen, Nackenmuskelverspannungen und einem Instabilitätsgefühl der Halswirbelsäule kommen.

Durch die nachhaltige Beeinträchtigung des Wohlbefindens des Unfallopfers und das dennoch oft fehlende radiologische Substrat hat diese Verletzung erhebliche versicherungsrechtliche Bedeutung [Dvorak et al. 1987] gewonnen.

### 1.1.3. Neurologie

Bei der Aufnahmeuntersuchung eines wirbelsäulenverletzten Patienten ist die orientierende neurologische Stuserhebung obligat. Von großer Wichtigkeit für die Prognose der Verletzung sind motorische Ausfälle. Leichte sensorische Defizite und Kribbelparästhesien treten relativ häufig auf, sind aber im Verlauf der Behandlung fast immer bis zur Vollremission rückläufig [Benzel und Larson 1986]. Der neurologische Status ist entscheidend für die weitere Stufendiagnostik und Therapie.

#### 1.1.4. Die radiologische Stufendiagnostik bei Wirbelsäulenverletzungen

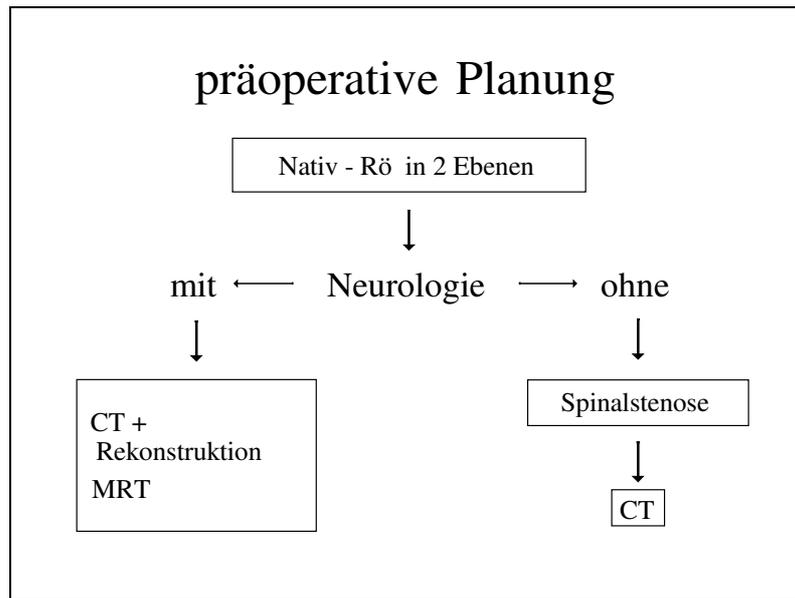


Abb. 1: Radiologische Stufendiagnostik

##### 1.1.4.1. Das konventionelle Röntgenbild

Die konventionelle Röntgendiagnostik hat ihren festen Platz in der Primärdiagnostik der Wirbelsäulenverletzung (Abb. 1). Sie liefert als apparativ einfache und kostengünstige, schnelle Untersuchung eine Projektion der knöchernen Strukturen in der Seit- und Frontalebene [Murphy et al. 1989]. Häufige Verletzungsmuster, wie die Keilkompressionsfraktur, können mit dieser Aufnahmetechnik schnell und sicher diagnostiziert werden. Die Seitenaufnahme dient der Beurteilung einer sagittalen Keildeformität und dem Zustand der Wirbelkörperhinterkanten. Auf der a.p.-Aufnahme weist ein Achsenknick in der Flucht der Dornfortsatz- und Pedikelprojektion auf eine Wirbelkörperfraktur hin. Neben den direkt sichtbaren Zeichen für eine Fraktur können einer konventionellen Röntgenaufnahme auch, besonders bei gehaltenen Funktionsaufnahmen, wichtige Informationen über den Zustand des Band- und Muskelapparates abgewonnen werden [Harris, Jr. 1975].

##### 1.1.4.2. Die Computertomographie (CT)

Wegen der im Nativ-Röntgenbild unsicher zu beurteilenden Verhältnisse von Wirbelkörperhinterkanten und Wirbelbögen als Begrenzungen des Spinalkanals, deren Verletzung ein hohes Risiko für neurologische Schädigungen darstellt, gehört das Computertomogramm heute zur erweiterten Routinediagnostik. Auf ein CT wird nur in den Fällen verzichtet, in denen sich aus Art und Stärke des Traumas, dem klinischen Untersuchungsbefund und der Nativ-Röntgendiagnostik kein Anhalt für eine Verletzung der Wirbelkörperhinterkante, der Wirbelbögen oder der Gelenkfacetten ergibt.

#### 1.1.4.3. Magnetresonanztomographie (MRT)

Ziel dieser apparativ aufwendigen und teuren Untersuchung ist, Informationen über das an der Verletzung beteiligte Weichgewebe zu gewinnen. Insbesondere können hier die vorderen und hinteren Längsbänder [Brightman et al. 1992], sowie die Zwischenwirbelscheiben und die neuralen Strukturen [Modic et al. 1984; Tarr et al. 1987] beurteilt werden. In Bezug auf das Schleudertrauma gewinnt die MRT-Untersuchung eine besondere Bedeutung, da bei Entwicklung einer neurologischen Symptomatik oder dem Hinweis auf eine Verletzung im Nativ-Röntgen mit diesem Verfahren wichtige Erkenntnisse über eventuelle Weichgewebeverletzungen gewonnen werden können [Meydam et al. 1986]. Im Rahmen der radiologischen Stufendiagnostik bei Wirbelsäulenverletzungen (Abb. 1) steht das MRT am Ende der Untersuchungsskala.

#### 1.1.5. Die konservative Therapie

##### 1.1.5.1. Halswirbelsäule

In der Klinik für Unfallchirurgie der Universität Kiel wird die Indikation für eine konservative Behandlung der Halswirbelkörperfraktur bei fehlenden Zeichen einer knöchernen oder ligamentären Instabilität der Halswirbelsäule gesehen. Wegen der teilweise schwierigen Applikationen der verschiedenen HWS-Orthesen sprechen niedriges Lebensalter und schlanker Körperbau für eine konservative Therapie.

Als Therapieverfahren kommen in Ausnahmefällen die HALO- und CRUTCHFIELD-Extension sowie der Minervagips zur Anwendung. Diese Verfahren sind zur vorübergehenden Immobilisation vor allem bei Patienten mit Begleitverletzungen, die in der Therapie Vorrang haben, indiziert.

##### 1.1.5.2. Brust- und Lendenwirbelsäule

Vor etwa 60 Jahren stellte LORENZ BÖHLER [Böhler 1935] die Grundsätze für die konservative Wirbelbruchbehandlung auf: „Einrichten, festhalten, üben“. Anhand dieser Grundsätze richtete BÖHLER den komprimierten Wirbel zunächst im ventralen, später im dorsalen Durchhang durch Längszug auf und immobilisierte die erreichte Stellung für drei bis fünf Monate im Gipsmieder. Die anschließende Übungsbehandlung sah vielerlei Freiübungen, vor allen Dingen jedoch Rumpfbeugen und -strecken zur Kräftigung der Bauch- und Rückenmuskulatur vor. Ferner sollte die Wirbelsäule durch Tragen von Sandsäcken mit langsamer Gewichtserhöhung axial belastet werden, um eine Belastungsverschiebung von den verletzten ventralen zu den intakten dorsalen Strukturen zu erzielen.

In ihren Grundzügen findet die von BÖHLER beschriebene konservative Behandlung bis zum heutigen Tag Anwendung. Lediglich Immobilisationszeit, Übungen und Indikationsstellung sind neueren Erkenntnissen in der Wirbelkörperfrakturtherapie angepaßt worden.

Die Indikation für eine konservative Frakturbehandlung an Brust- und Lendenwirbelsäule besteht in der Klinik für Unfallchirurgie im Klinikum der CAU Kiel bei:

1. einem Kyphosewinkel nach COBB [Cobb 1948] von weniger als 20° im seitlichen Strahlengang,
2. fehlenden radiologischen und klinischen Instabilitätszeichen,
3. Abwesenheit von neurologischen Ausfallerscheinungen sowie
4. bei einer Spinalkanaleinengung von weniger als 25%.

Zur Anwendung kommen die vorübergehende Immobilisation im Gipsbett sowie die lordosierende Lagerung mit krankengymnastischer Übungstherapie, eventuell unter dem anschließenden orthetischen Schutz eines Drei-Punkte-Stützkorsetts nach VOGT u. BÄHLER [Vogt 1962]. Die frühfunktionelle Übungsbehandlung wird unverzüglich begonnen, sobald der Patient schmerzfrei ist.

#### 1.1.6. Die operative Therapie

Zur operativen Therapie existiert umfassende Literatur [Aebi et al. 1992; Bertagnoli 1993a; Bertagnoli 1993b]. Die im folgenden beschriebenen Operationsindikationen und -techniken werden in der Klinik für Unfallchirurgie im Klinikum der Christian-Albrechts-Universität angewandt.

**Absolute** Indikationen für die Operation sind:

1. offene Wirbelsäulenverletzungen und
2. sekundär auftretende oder zunehmende neurologische Ausfallerscheinungen.

**Relative** Indikationen für ein operatives Vorgehen sind:

1. Instabilität der Fraktur,
2. Spinalkanaleinengung über 25% sowie
3. Kyphosewinkel nach COBB über 20°.

Erweiterungen dieser Indikationsspektren ergeben sich aus der Notwendigkeit zügiger Mobilisation, wie bei alten Menschen zur Pneumonieprophylaxe oder bei jungen, sportlichen Patienten zur schnellstmöglichen Wiederherstellung der Bewegungsfähigkeit.

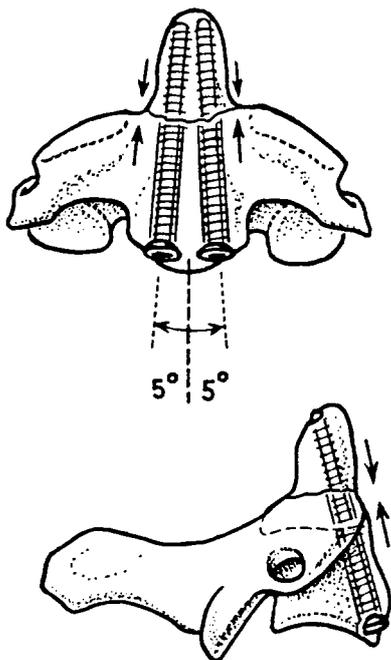
Ist die Indikation zum operativen Vorgehen gestellt, erfolgt der Eingriff möglichst unverzüglich [Onimus et al. 1989; Chang 1992], d.h. innerhalb von 24 Stunden nach dem Unfall.

### 1.1.6.1. Halswirbelsäule

In Abhängigkeit vom Alter des Patienten, der Lokalisation der Verletzung und dem Befund der neurologischen Untersuchung wird die Indikation für das entsprechende OP-Verfahren gestellt. Relative Kontraindikationen sind Struma sowie beidseitige Carotisstenose.

#### 1.1.6.1.1. Der Dens axis

Die **ventrale Zugschraubenosteosynthese** findet bei Querfrakturen im kaudalen Drittel und der Basis des Dens axis Anwendung. Das Prinzip ist die interfragmentäre Kompression durch zwei von ventro-kaudal in den Dens eingebrachte Zugschrauben. Die Indikation reduziert sich hier auf reine Densquerfrakturen, da eine nicht rechtwinklig zur Zugschraube verlaufende Frakturebene zum Abrutschen des Fragments führt. Die operative Stabilisierung beugt der Entstehung einer Pseudarthrose vor, die durch die Instabilität der Densbasis eine dauerhafte Beeinträchtigung des Wohlbefindens sowie die Gefahr einer neurologischen Komplikation birgt. Bei Frakturen des Apex dentis ist eine Operation nicht indiziert.



Nachteile der Densverschraubung sind technische Probleme bei Patienten mit kurzem Hals, eingeschränkter Beweglichkeit der Halswirbelsäule, starken thorakalen Kyphosen oder Emphysemthorax. Ferner ist diese Operation nur möglich, wenn eine hochauflösende Durchleuchtungskamera in zwei Ebenen zur Verfügung steht. Eine Spinalkanalstenose stellt wegen der Gefahr der Rückenmarkverletzung eine absolute Kontraindikation für die Densverschraubung dar.

Vorteil dieses Verfahrens sind die Erhaltung der Motilität im Bewegungssegment HWK 1 - HWK 2, die gefahrlose postoperative Übngsbehandlung und der gegenüber dorsalen Verfahren weniger traumatisierende ventrale Zugang.

Abb. 2: ventrale Zugschraubenosteosynthese des dens axis in Ansicht von vorn (o.) und seitlich (u.) (nach Aebi et al. 1992)

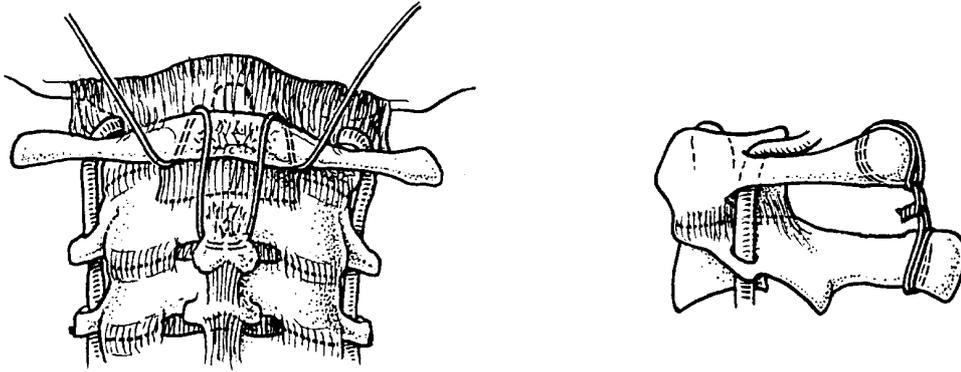


Abb. 3: Die modifizierte Drahtzügelungsosteosynthese nach GALLIE in der Ansicht von hinten (li.) und seitlich (re.) (nach Aebi et al. 1992).

Die **Drahtzügelungsosteosynthese** in einem modifizierten Verfahren nach GALLIE (Abb. 3) findet bei Instabilität zwischen Atlas und Axis Anwendung. Prinzip ist die dorsale Stabilisierung des Atlasbogens gegenüber dem HWK 2, vor allem gegen Flexionskräfte.

Vorteil dieser Vorgehensweise ist der relativ einfache, gefahrlose Zugang von dorsal. Das Herumführen des Drahtes um den Atlasbogen und das anschließende Spannen bergen jedoch bei einem instabilen Bruch die Gefahr einer Rückenmarkverletzung.

#### 1.1.6.1.2. Die untere Hals- und obere Brustwirbelsäule

An der übrigen Halswirbelsäule und der oberen Brustwirbelsäule wird ausschließlich die **ventrale Plattenosteosynthese** mittels **OROZCO-H-** (Abb. 4) oder Verriegelungsplatte durchgeführt. Die Platte bewirkt bei Flexion der Wirbelsäule eine Abstützung und bei Extension eine Zuggurtung des verletzten Segments. Insbesondere im HWS-Bereich werden zerstörte Bandscheiben ausgeräumt und durch autologe Knochenspäne ersetzt, was zu einer knöchernen Verblockung des betroffenen Bewegungssegments führt.

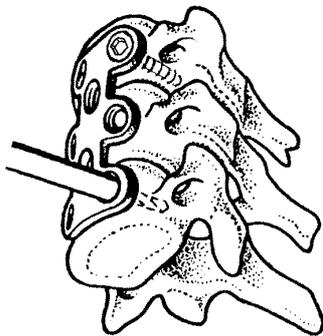


Abb. 4: Anbringen einer ventralen Plattenosteosynthese (nach Aebi et al. 1992)

Die Indikationen für ventrale Plattenosteosynthesen sind die Verstärkung der ventralen Säule bei persistierender Instabilität, vor allem bei Wirbelkörperkeildeformitäten oder -berstungen, sowie die Dekompression des Spinalkanals nach Diskektomie und partieller oder totaler Vertebroektomie.

Nachteilig wirkt sich bei diesem System aus, daß die Schrauben die hintere Kortikalis des Wirbelkörpers erfassen müssen, um festen Halt zu bekommen. Dadurch besteht das Risiko, durch geringfügig überlange Bohrungen das Rückenmark zu verletzen. Weiterhin besteht keine feste Ver-

bindung zwischen Schraube und Platte, wodurch eine Schraubenlockerung mit ventraler Wanderung vorkommen kann.

Vorteile der Plattenosteosynthese sind die relativ einfache Instrumentierung, die gute Anpaßbarkeit der Schraubenrichtung bei der Standardplatte und die Möglichkeit, durch exzentrische Bohrlöcher eingebrachte Knochentransplantate zu komprimieren.

Die **Verriegelungsplatte** (Abb. 5) gleicht im Prinzip der OROZCO-H-Platte und stellt eine Verfeinerung des Verfahrens dar. Da die Verriegelungsschrauben einen Kantenstop besitzen und über einen Spreizbolzen fest mit der Platte verspannt werden, müssen sie mit Hilfe einer Spezialinstrumentierung exakt im 90°-Winkel zur Platte eingebracht werden.

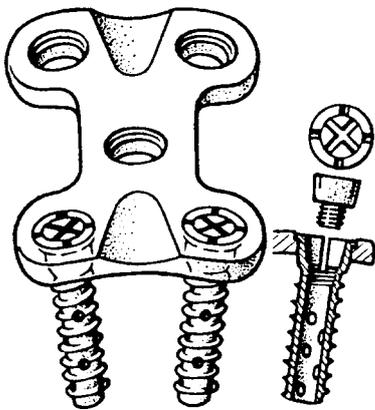


Abb. 5: HWS-Verriegelungsplatte aus Reintitan (TLSP-System) (nach Aebi et al. 1992)

Hierin liegt auch der einzige Nachteil dieses Systems begründet: Der Schraubenwinkel zur Platte ist fest vorgegeben und kann den anatomischen Verhältnissen nicht angepaßt werden. Dieser Nachteil wird jedoch durch ein sehr großes, variables Sortiment teilweise ausgeglichen.

Hauptvorteil der Verriegelungsplatte ist, daß die Schrauben mit der Platte fest verspannt werden und daher das zweite Widerlager in der dorsalen Kortikalis des Wirbelkörpers nicht benötigen. Dadurch wird die Gefahr einer Rückenmarksverletzung durch zu lange Bohrungen und / oder Schrauben wesentlich gemindert. Ferner kommen Schraubenlockerungen mit ventraler Wanderung und den damit verbundenen nachteiligen Auswirkungen auf die Winkelkorrektur nicht vor.

#### 1.1.6.2. Brust- und Lendenwirbelsäule

Von den zahlreichen zur Verfügung stehenden Verfahren zur Frakturstabilisierung der unteren Brustwirbelsäule und der Lendenwirbelsäule werden in der Klinik für Unfallchirurgie der Universität Kiel vorwiegend Techniken mit dorsalem Zugang angewandt: Die transpedikuläre Plattenspondylodese mit und ohne Druckplatte sowie der **Fixateur interne**. Der **Fixateur externe** nach MAGERL [Magerl 1984] wird heute kaum noch verwandt, eine Sonderindikation bildet die offene Wirbelkörperfraktur.

Das Prinzip des **Fixateur interne** nach DICK [Dick 1984; Dick 1987] vereint die beiden wichtigsten Anforderungen an eine Frakturbehandlung: Reposition und Stabilisation der Fragmente.

Aufgrund der großen Variabilität der ausgeübten Kräfte (Distraction, Kompression, Neutralfixation, Kyphosierung und Lordosierung) erstreckt sich die Indikation auf nahezu alle Frakturen der unteren Brust- und der Lendenwirbelsäule.

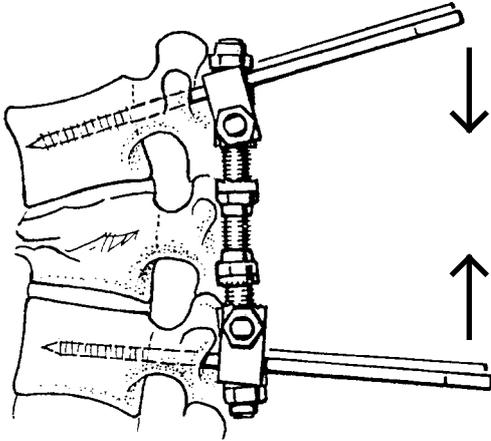


Abb. 6: Aufrichtung eines Wirbelkörpers mit dem Fixateur interne (nach Aebi et al. 1992)

Durch den rechten und linken Pedikel des kranialen und kaudalen Nachbarwirbels wird jeweils eine SCHANZ'sche Schraube eingedreht.

Bei einer Kompressionsfraktur wird die Aufrichtung (Lordosierung) des frakturierten Wirbels durch Zusammendrücken der hinteren Enden der SCHANZ'schen Schrauben erreicht (Abb. 6).

Eine knöcherne Rotationsinstabilität wird durch eine zusätzliche Verbindung der beiden Gewindestäbe mit einem Querstab kompensiert.

Die Nachteile des inneren Fixationsverfahrens sind das relativ sperrige und voluminöse Implantat und die wegen zu schmaler Pedikel fehlende Anwendbarkeit oberhalb von BWK 6.

Von Vorteil ist die Vielseitigkeit des Systems, das unabhängig vom Frakturtyp verwendet werden kann. Die Fixationsstrecke umfaßt zwei Bewegungssegmente und hat damit nur minimalen Einfluß auf die Gesamtbeweglichkeit der Wirbelsäule. Das Repositionsmanöver über die SCHANZ'schen Schrauben und Distractionsmutter ist einfach und präzise.

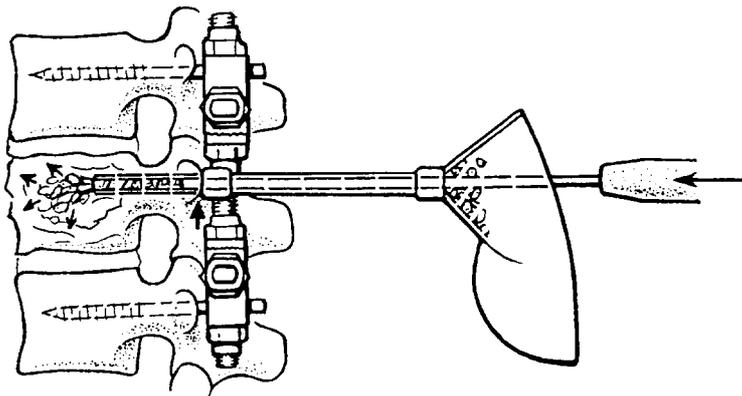


Abb. 7: Auffüllen des Knochendefekts mit autologer Spongiosa nach DANIAUX (nach Aebi et al. 1992)

In Abhängigkeit von der Stärke der Wirbelkörperkompression wird nach erfolgter Reposition der entstandene knöcherne Defekt durch einen transpedikulär eingebrachten DANIAUX-Trichter (Abb. 7) mit autologer Spongiosa aufgefüllt [Daniaux 1986].

#### 1.1.7. Laminektomie

Die Indikation zur (Hemi-) Laminektomie ist präoperativ nur dann eindeutig gegeben, wenn das MRT-Bild eine Ruptur des dorsalen Längsbandes und ein den Spinalkanal einengendes Wirbelkörperhinterkanten-

fragment zeigt. In diesem Fall ist mit dem Versagen der Ligamentotaxis (vgl. 4.4.1, S. 35) zu rechnen und das Fragment muß mit dem Stößel offen reponiert werden. Einziger operativer Zugang für dieses Manöver ist die (Hemi-)Laminektomie. Ergeben sich intraoperativ Hinweise für eine Verletzung des Durasacks (z.B. Aspiration von blutigem Liquor bei der Myelographie) so muß zur neurochirurgischen Versorgung ebenfalls laminektomiert werden.

Der operative Zugang zur Laminektomie entspricht im Wesentlichen dem zur dorsalen Stabilisierung der Wirbelfraktur. Zunächst wird der Dornfortsatz mit der Knochenzange abgetragen, dann folgt je nach geplantem Ausmaß der Wirbelbogeneröffnung die Abtragung entweder der halben (unter Belassung der Dornfortsatzbasis) oder ganzen Lamina. Hierbei kann es zur iatrogenen Schädigung von Nervenwurzeln kommen, die in die Basis des Dornfortsatzes gedrückt werden.

#### 1.1.8. Sonderindikationen

Osteoporotische Kompressionsfrakturen und pathologische Frakturen bei vertebralen Absiedlungen maligner Tumoren stellen eine relative Indikation zum operativen Eingriff dar. Absolute Indikationen ergeben sich auch hier aus einer sich verschlechternden neurologischen Situation. Bei pathologischen Frakturen kann die Entfernung eines oder mehrerer befallener Wirbel notwendig sein. Als tragfähiger Knochenersatz werden hier der Metallspingosablock, ein mit autologem Knochen gefülltes Metallgitter oder - in der Halswirbelsäule - ein Palacos®-Block zur verwandt.

#### 1.1.9. Übungsbehandlung

Die Übungsbehandlung als dritter Punkt der BÖHLER'schen Trias „einrichten, festhalten, üben“ soll die Muskulatur kräftigen und die Beweglichkeit der Wirbelsäule verbessern, um Statik und Dynamik der Wirbelsäule aufeinander abzustimmen. Bei konservativer Therapie ist der Übergang zwischen „festhalten“ und „üben“ gleitend, das heißt, daß ein Teil der verlorengegangenen statischen Funktion durch eine Verbesserung der Dynamik kompensiert wird [Skuginna et al. 1980]. Die operative Stabilisierung hingegen tut den Punkten „Einrichten“ und „Festhalten“ ausreichend Genüge. Daher ist die postoperative Übungsbehandlung allein mit der Wiederherstellung der Beweglichkeit des verletzten Segments befaßt.

#### 1.1.10. Unfallfolgen

Verletzungen der Wirbelsäule sind potentielle Ursachen für eine Berufs- oder Erwerbsunfähigkeit sowie für dauerhafte gravierende Einschränkungen im Wohlbefinden des Unfallopfers. Neben der Wiederherstellung oder Erhaltung der Arbeitsfähigkeit sind daher der Schmerzzustand und die Zufriedenheit des Patienten wichtige Parameter für die Beurteilung des Behandlungserfolges.

## **1.2. Fragestellung und Zielsetzung der Untersuchung**

Nach der Diagnose einer knöchernen Verletzung an der Wirbelsäule muß die Entscheidung für ein konservatives oder operatives Therapiekonzept getroffen werden. Die ausschlaggebenden Parameter sind der neurologische Befund, das Alter und die körperliche Konstitution des Patienten sowie die Belastungsstabilität einer Fraktur. Anhand der Behandlungsergebnisse der im Jahr 1991 wegen einer Wirbelkörperfraktur in der Klinik für Unfallchirurgie der Universität Kiel stationär behandelten Patienten sollen folgende Fragen beantwortet werden:

1. Zeigt die meßtechnische Analyse der radiologischen Befunde einen Qualitätsunterschied zwischen konservativer und operativer Therapie ?
2. Besteht bei der Zufriedenheit des Patienten mit der Behandlung, seinen Beschwerden und den Auswirkungen der Verletzung auf sein Alltagsleben ein Unterschied zwischen konservativer und operativer Therapie ?

Diese Studie sieht die Wirbelsäule in ihrer funktionellen Gesamtheit und beschränkt sich daher nicht auf die Untersuchung der knöchernen Strukturen. Mit Hilfe moderner bildgebender Verfahren wie CT und MRT soll versucht werden, die Morphologie der an der Verletzung beteiligten Weichgewebe, insbesondere der Disci intervertebrales, mit dem Beschwerdebild des Patienten zu korrelieren.

Gleichzeitig soll geprüft werden, ob mit Hilfe der MRT präoperativ zuverlässige Informationen über den Zustand der Bandstrukturen und Disci intervertebrales gewonnen werden können, um eine gezieltere Wahl des Operationsverfahrens zu ermöglichen.

### **1.2.1. Qualitätssicherung**

Neben der prospektiven Bedeutung dieser Studie für die Indikationsstellung verschiedener Therapieregimes sollen die erhobenen Daten retrospektiv zur Sicherung der Behandlungsqualität in der Klinik für Unfallchirurgie des Universitätsklinikums Kiel im multizentrischen Vergleich herangezogen werden.

## 2. Patientengut und Methode

### 2.1.1. Aufbau der Studie

In diese Studie werden alle Patienten einbezogen, die wegen einer Fraktur eines Wirbelkörpers oder eines Wirbelbogens vom 1.1.1991 bis 31.12.1991 stationär in die Klinik für Unfallchirurgie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel aufgenommen wurden.

Ausschlußkriterien sind isolierte Frakturen eines oder mehrerer Quer- oder Dornfortsätze ohne Mitbeteiligung von Wirbelkörper oder -bogen, da diese Verletzungen vernachlässigbaren Einfluß auf die Statik der Wirbelsäule besitzen und üblicherweise mit sehr geringen Restbeschwerden ausheilen. Sie berühren daher die Fragestellung bezüglich Operationsindikation und Langzeitergebnis nicht.

Aus den stationären und ambulanten Krankengeschichten wurden die Daten über Konzept und Verlauf der bisherigen Behandlung, Unfallursache, Frakturtyp, neurologischen Status bei Erstaufnahme, Komplikationen und deren Therapie erhoben. Die Patienten wurden angeschrieben und gebeten, sich genau 12 Monate nach ihrer Erstaufnahme zu einer Nachuntersuchung im Rahmen dieser Studie in der Ambulanz der Klinik für Unfallchirurgie vorzustellen. Alle Röntgenbilder und Computertomogramme vom Unfall- und Entlassungs- und Materialentfernungszeitpunkt wurden nach den unten beschriebenen Parametern (vgl. 2.3, S. 15) vermessen.

## 2.2. Klinische Nachuntersuchung

### 2.2.1. Inspektion und Anamnese

Der Patient schildert auf Befragen zunächst sein subjektives Beschwerdebild und erläutert, ob er mit dem Ergebnis der bisherigen Behandlung zufrieden ist. Da die sozioökonomische Integration und Rehabilitation von Wirbelsäulenverletzten häufig schwierig ist und somit einen wichtigen Parameter in der Beurteilung des Behandlungsergebnisses darstellt, wird die Dauer der verletzungsbedingten Arbeitsunfähigkeit sowie die Berufs- und Erwerbsfähigkeit eruiert.

### 2.2.2. Körperliche Untersuchung

Ziel der körperlichen Untersuchung ist, das Ausmaß der nach der Verletzung zurückgebliebenen Einschränkung der Beweglichkeit zu objektivieren. Die Meßparameter sind im Einzelnen:

|                  |   |
|------------------|---|
| Halswirbelsäule: | Re- und Inklinat  |
|                  | ion des Kopfes, Rotation des Kopfes nach rechts und links, Seitneigung des Kopfes nach rechts und links |

Brust- und Lendenwirbelsäule: OTT'sches und SCHOBER'sches Zeichen, Rotation, Seitneigung und aktive Dorsalextension aus der Bauchlage

#### 2.2.2.1. Untersuchungen der Halswirbelsäule

Die Untersuchungen der Halswirbelsäule werden am aufrecht sitzenden Patienten bei leicht angelehntem Oberkörper durchgeführt.

Die Rotationsbeweglichkeit der Halswirbelsäule wird als Abweichung der Sagittalebene des Kopfes gegenüber der Sagittalebene des unbewegten Rumpfes gemessen.

Das Winkelmaß für Re- und Inklinatation der Halswirbelsäule wird festgelegt als die maximale Abknickung der Linie Tragus-Scheitelbein, die im freien Stand etwa der seitlichen Projektion der Körperlängsachse entspricht, gegenüber der Längsachse des Rumpfes.

Die Beweglichkeit der Halswirbelsäule in der Frontalebene wird gemessen als die maximale Seitabweichung der Mediansagittalebene des Kopfes gegenüber der des Rumpfes.

#### 2.2.2.2. SCHOBER'sches Zeichen

Im geraden Stand werden Markierungen über dem Dornfortsatz des HWK7 und 30cm kaudalwärts sowie über dem Dornfortsatz des SWK1 und 10cm kranialwärts angebracht. Bei maximaler Anteflexion der Wirbelsäule erlaubt die Differenz der Abstände dieser Markierungen gegenüber ihren Ausgangswerten eine Aussage über die sagittale Beweglichkeit von Brust- und Lendenwirbelsäule.

#### 2.2.2.3. OTT'sches Zeichen

Im geraden Stand wird der Dornfortsatz des LWK1 aufgesucht und je 5cm kranial- und kaudalwärts eine Markierung angebracht. In maximaler Anteflexionsstellung der Wirbelsäule wird der Abstand der beiden Markierungen gemessen. Das Ott'sche Zeichen objektiviert die Beweglichkeit der Wirbelsäule in der Sagittalebene in dem besonders häufig verletzten thorakolumbalen Übergang (vgl. 3.3.2, S. 22).

#### 2.2.2.4. sonstige Untersuchungen an BWS und LWS

Die Rotationsbeweglichkeit der Wirbelsäule um die Körperlängsachse wird am frei aufrecht sitzenden Patienten gemessen. Bestimmt wird die Drehbarkeit des Schultergürtels gegenüber dem nicht mitrotierenden Becken.

Die seitliche Beweglichkeit der Wirbelsäule (in der Frontalebene) wird bestimmt durch das Maß der maximalen seitlichen Rumpfeinkrümmung gegenüber dem nicht mitbewegten Becken am frei stehenden Patienten.

Als Maß für die Funktionsfähigkeit der aufrichtenden Rückenmuskulatur wurde an dem in Bauchlage befindlichen Patienten der Abstand zwischen Jugulum und Untersuchungsfläche bestimmt, nachdem der Patient gebeten wurde, seinen Oberkörper maximal nach dorsal von der Untersuchungsfläche zu erheben.

#### 2.2.2.5. Neurologie

Bei der Nachuntersuchung des Patienten wurde der Verlauf bereits bekannter unfallabhängiger neurologischer Störungen untersucht.

### 2.3. Radiologische Untersuchungen

Um den Heilungsverlauf der Wirbelverletzungen möglichst objektiv zu dokumentieren, stützt sich diese Untersuchung auf radiologische Daten, die während einheitlicher Phasen nach dem Verletzungsereignis gewonnen wurden:

1. unmittelbar nach dem Unfallereignis
2. nach der operativen Versorgung oder nach konservativer Versorgung bei Entlassung aus der stationären Behandlung
3. nach der Materialentfernung ca. 6 Monate post op.
4. ein Jahr nach dem Unfallereignis.

Die radiologische Diagnostik zum Nachuntersuchungszeitpunkt richtet sich der Vergleichbarkeit halber nach der primär erfolgten Diagnostik. Diese Diagnostik wurde nach dem in Abb. 1 (S. 4) gezeigten Schema durchgeführt.

Die Frakturen wurden nach dem unter 1.1.2 (S. 2) erläuterten Schema nach MAGERL klassifiziert, da die Frakturgrade prognostische Relevanz besitzen.

#### 2.3.1.1. Nativ-Röntgen

Nach Aufklärung der Patienten über die mit den Untersuchungen verbundenen Belastungen mit Röntgenstrahlung wurde von allen einwilligenden Patienten eine Röntgenaufnahme des verletzten Wirbelsäulenabschnitts im a.p. und im seitlichen Strahlengang angefertigt.

Auf die Anfertigung von konventionellen Schichtaufnahmen und Schrägaufnahmen der Wirbelsäule wurde verzichtet.

Die kostengünstige und schnelle Nativ-Röntgenuntersuchung erlaubt in fast allen Fällen eine zuverlässige Aussage über Frakturen der Wirbelkörper. Wegen der nicht maßstabgetreuen Abbildung kann die Beurteilung einer fraglichen Fraktur allerdings nur im Vergleich zu den benachbarten Wirbeln erfolgen. Die hierfür gewählten Parameter sind:

### 2.3.1.1.1. Äußere Maße des Wirbelkörpers

Zur Veranschaulichung der im folgenden beschriebenen Meßparameter sind die *kursiv gedruckten Kürzel* in Abb. 8 und Abb. 9 illustriert.

Die Röntgenbilder des betreffenden Wirbelsäulenabschnitts im a.p. und seitlichen Strahlengang wurden nach festgelegten Kriterien vermessen: Vom verletzten (*..V*) Wirbelkörper sowie dem jeweils kaudal (*..Ca*) und kranial (*..Cr*) benachbarten wurden folgende Daten erhoben:

1. mediale Taille im Seit- (*MT*) und a.p. (*AT*) -Strahlengang
2. mediane Höhe (*HM*) im a.p.-Bild
3. Seitenkantenhöhe rechts (*SKR*) und links (*SKL*) im a.p.-Bild
4. Höhe der Vorder- (*VK*) und Hinterkante (*HK*) im Seitbild
5. Höhe der Intervertebrälräume im Seitbild nahe der Vorderkante, in der Mitte und nahe der Hinterkante des Wirbelkörpers (*D[V,M,H]Cr .. D[V,M,H]Ca*), jeweils vom Intervertebrälräum oberhalb des dem verletzten Wirbel kranial benachbarten bis unterhalb des dem verletzten Wirbel kaudal benachbarten (*DV[Cr,VCr,VCa,Ca] .. DH[Cr,VCr,VCa,Ca]*).
6. Winkel zwischen Grundplatte des dem verletzten Wirbel kranial benachbarten Wirbels zur Grundplatte des verletzten Wirbels in der Seitenaufnahme (*Linien 1 und 3*)
7. Winkel zwischen Grundplatte des dem verletzten Wirbel kranial benachbarten Wirbels zur Deckplatte des kaudal benachbarten Wirbels in der Seitenaufnahme (*Linien 1 und 4*)

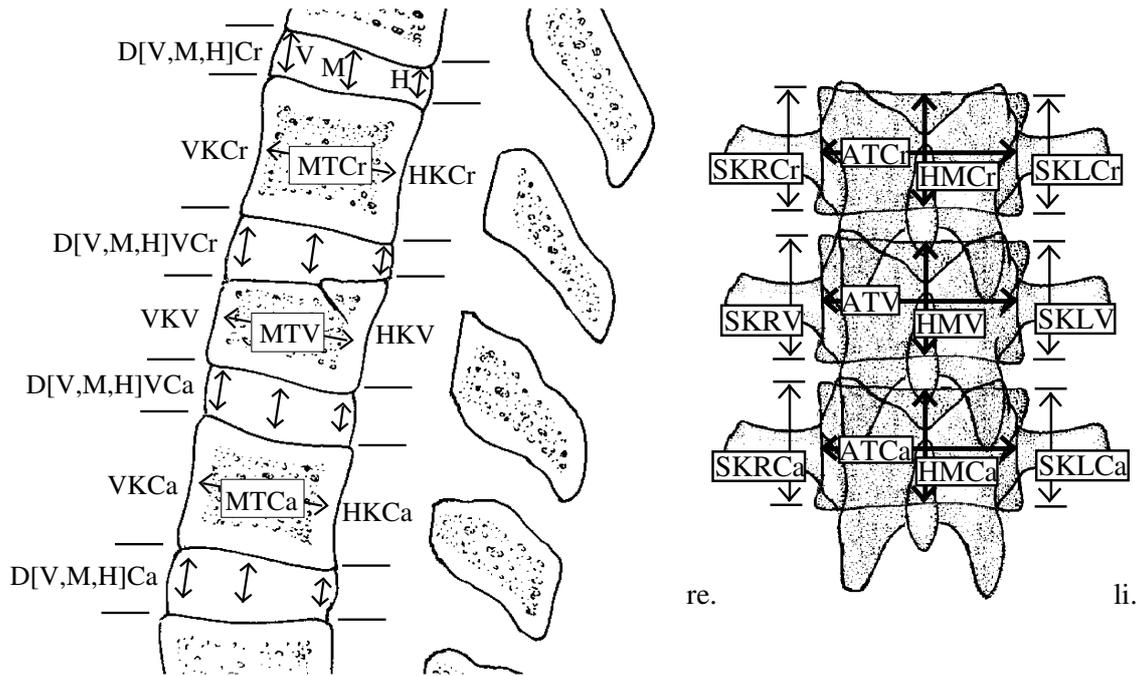


Abb. 8: Maße im Nativ-Röntgenbild: seitlich (li.) und anterior-posterior (re.)

#### 2.3.1.1.2. Winkel nach COBB und DANIAUX

Der COBB'sche Winkel [Cobb 1948] bezeichnet das Maß des durch die Wirbelsäulenverletzung hervorgerufenen Achsenknicks in der sagittalen (*Linien 1 und 4*) und der frontalen (*Linien 5 und 8*) Ebene.

Der Wirbelkörperwinkel nach DANIAUX [Daniaux 1986] wird durch die seitliche (*Linien 2 und 3*) bzw. a.p. (*Linien 6 und 7*)-Projektion der Wirbelkörperdeck- und Grundplatten gebildet und bezeichnet direkt das Maß der Deformität einer Keilkompressionsfraktur.

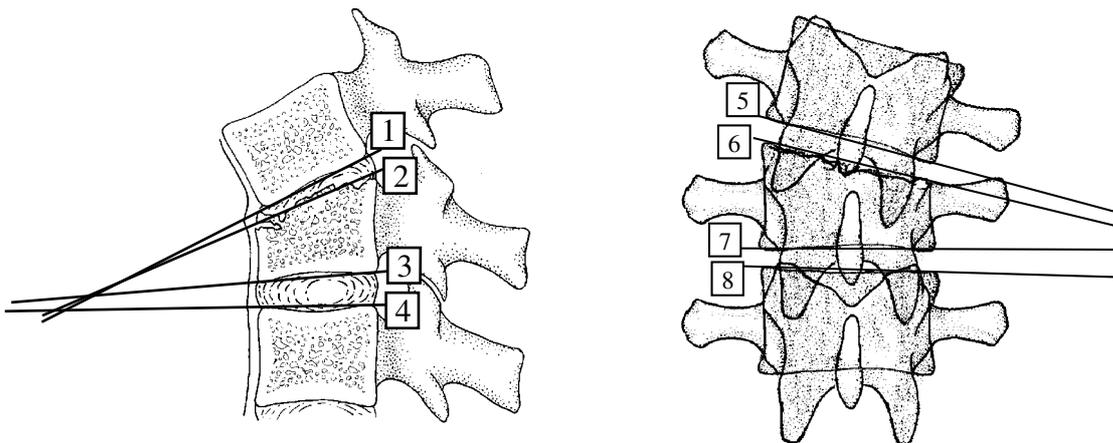


Abb. 9: Winkelmaße im Seitbild (li.) und a.p.-Bild (re.)

### 2.3.1.1.3. Sagittaler Index (SI) nach BECK

Der sagittale Index nach BECK [Beck 1971] beschreibt den Quotienten aus der Höhe der Vorderkante und der Höhe der Hinterkante eines Wirbels und ist ein Maß für die Keil deformität des verletzten Wirbels.

### 2.3.1.1.4. Eigene Frakturindices

Da die Berechnung des sagittalen Index nach BECK und der Wirbelkörperwinkel nach DANIAUX lediglich eine Aussage über die Keil deformität, nicht aber über den Betrag der axialen Einstauchung macht, werden zusätzliche Indizes erstellt, die sämtliche im Nativ-Röntgenbild sichtbaren relevanten Verletzungen erfassen.

Es werden zwei Indizes berechnet:

1. Der Frakturindex  $FI_A$  besteht aus dem arithmetischen Mittel der prozentualen Abweichung vom Sollwert der Parameter  $VKV$ ,  $HKV$ ,  $SKRV$  und  $SKLV$  (Abb. 8). Er ist ein Maß für die prozentuale Deformierung aller Wirbelkörperkanten.
2. Der Frakturindex  $FI_B$  unterscheidet sich insoweit vom  $FI_A$ , als daß in den Sollwert und die prozentuale Deformierung von Vorder- und Hinterkante die Weite des kranialen Intervertebralraums ( $DVVCr$  und  $DHVCr$ ) einfließt. In diesem Sinne ist der  $FI_B$  eher ein Verletzungs- als ein Frakturindex.

Beide Frakturindices sollen mit den klinischen Beschwerden der Patienten korreliert werden, um eine Aussage über den Einfluß der intervertebralen Deformierung auf das Beschwerdebild zu gewinnen.

### 2.3.1.2. Computertomographie (CT)

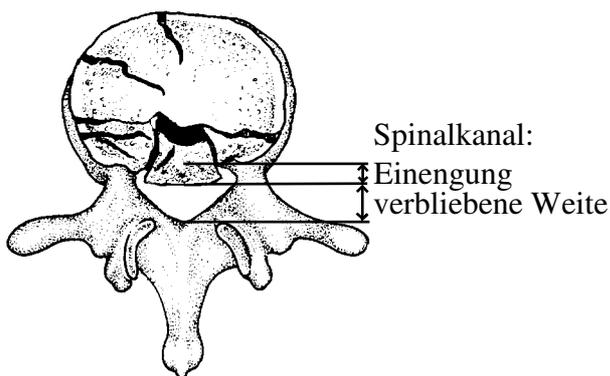


Abb. 10: Einengung des Spinalkanals durch ein Hinterkantenfragment bei Berstungsfraktur

Von allen einwilligenden Patienten wird eine CT-Aufnahme des betroffenen Wirbelsäulenabschnitts angefertigt (Abb. 10). Die Serie der computertomographischen Schnittbilder in der Horizontalebene erstreckt sich auf den verletzten sowie den kranial und kaudal angrenzenden Wirbelkörper. Der Grad der nach der Therapie bestehenden Einengung des Spinalkanals gibt Aufschluß über den Erfolg der Behandlung. Zur Veranschaulichung der

Verhältnisse im Spinalkanal wird aus den axialen Bilddaten anschließend eine sagittale Rekonstruktion angefertigt.

### 2.3.1.3. Magnetresonanztomographie (MRT)

Aus Kostengründen wurde eine MRT-Untersuchung nur bei den Patienten durchgeführt, die wegen neurologischer Ausfallerscheinungen bereits in der Primärdiagnostik eine MRT-Untersuchung erhalten hatten.

## 2.4. Meßdatenerfassung und -auswertung

Die gewonnenen Meßdaten wurden zur Erfassung und Bearbeitung per EDV auf computerlesbare Askitron-Meßbögen übertragen und nach der Umwandlung in elektronische Daten auf dem PC mit der Datenbanksoftware dBASE IV [Borland Corporation 1993] weiterverarbeitet und dann mit dem Datenanalyseprogramm SPSS/PC+ 4.0 [SPSS Inc. 1990] ausgewertet.

Das Datenverarbeitungsverfahren ist prinzipiell für alle Parameter gleich: Der Verletzungsgrad wird als prozentuale Abweichung von einem Sollwert ermittelt. Der Sollwert wird im Falle der röntgenologischen Daten aus dem arithmetischen Mittel der miterfaßten unverletzten Nachbarsegmente gebildet. Bei der Auswertung der klinischen Untersuchung werden die Meßwerte zu vorgegebenen Sollwerten in Beziehung gesetzt. Um ein übersichtliches Gesamtbild vom Ausmaß der Verletzung zu erhalten, werden die gewünschten Indizes aus den Prozentwerten einzelner Parameter errechnet (vgl. 2.3.1.1.4, S. 18 und 3.6.1, S. 31)

### 2.4.1. Statistik

Im Rahmen dieser retrospektiven Nachuntersuchungsstudie können lediglich die Mittelwertveränderungen einzelner Parameter über den Therapiezeitraum hinweg und deren Signifikanz an Patienten innerhalb derselben Gruppe untersucht werden. Alle Berechnungen werden für die Zeiträume

1. Unfall (stationäre Aufnahme) bis Entlassung (aus der stationären Behandlung) und
2. Unfall bis Nachuntersuchung (nach 12 Monaten)

durchgeführt. Die Veränderung des arithmetischen Mittels über die Zeit ist dann im Sinne einer Verbesserung oder Verschlechterung des betreffenden Parameters innerhalb einer Therapiegruppe interpretierbar und der anderen Therapiegruppe gegenüberzustellen [Saurwein und Hönekopp 1992; Kollegium Biomathematik NW 1976].

Diese Untersuchung wird mit Hilfe des *t-Tests für abhängige Stichproben* durchgeführt.

Für einige Fragestellungen ist es nötig, die Verschiedenheit der Mittelwerte und deren Signifikanz eines mehr als zweifach gruppierten Parameters zu untersuchen, der einer unabhängigen Stichprobe entstammt.

Diese Untersuchung wird mit dem *Kruskal-Wallis H-Test* durchgeführt.

Zur Ablehnung der Nullhypothese ist, sofern nicht anders angegeben, ein Signifikanzniveau von  $p=0,05$  zu unterschreiten.

### **3. Ergebnisse**

#### **3.1. Patientengut**

Von den 65 Patienten, die die Aufnahmekriterien für diese Studie erfüllen, sind 30 (46%) männlich und 35 (54%) weiblich. Das Durchschnittsalter beträgt zum Aufnahmezeitpunkt 43 Jahre (männl.: 39 J., weibl.: 47 J.).

##### **3.1.1. Nachuntersuchung**

36 (55%) von 65 Patienten konnten klinisch nachuntersucht werden. In 6 Fällen (9%) wurde eine telefonische Befragung des Patienten durchgeführt. 8 Patienten (12%) willigten in die Untersuchung nicht ein und 15 Patienten (23%) sind unbekannt verzogen. Drei weitere Patienten, die die Aufnahmekriterien der Studie erfüllten, sind zwischenzeitlich verstorben, darunter ein tetraplegischer Patient, der in suizidaler Absicht die Nahrungsaufnahme verweigerte. Die Nachuntersuchung wurde durchschnittlich 12,9 Monate nach der Erstaufnahme durchgeführt.

#### **3.2. Unfallursachen**

Die häufigste Ursache für Wirbelkörperfrakturen ist der Verkehrsunfall (28 Fälle, 43,1%), gefolgt von 21 Unfällen (32%) im häuslichen Bereich, 11 am Arbeitsplatz (17%) und 5 Sportunfällen (8%). 19 Unfälle (29%) sind Arbeits- und Wegeunfälle im versicherungsrechtlichen Sinn.

Verkehrsunfallopfer sind mit 11 Fällen (39%) hauptsächlich Pkw-Insassen, Fußgänger (6 Fälle, 21%) und Zweiradfahrer (4 Fälle, 14%).

##### **3.2.1. Unfallverhütende Maßnahmen**

Bei 29 Patienten (45%) wurde die Benutzung von Sicherheitsgurt oder Schutzhelm dokumentiert. 10 dieser Patienten (35%) hatten keinen Gurt oder Helm benutzt.

#### **3.3. Verletzungen**

##### **3.3.1. Neurologische Ausfälle**

Bei 50 Patienten (77%) ist der Befund zum Zeitpunkt der stationären Aufnahme unauffällig. Von 9 Patienten (14%), die am Unfallort neurologische Ausfälle zeigten, haben bei stationärer Aufnahme 4 Patienten (7%) eine komplette, 1 Patient (2%) eine inkomplette Querschnittslähmung und bei 2 Patienten (3%) zeigen sich radikuläre Ausfälle. Bei 2 Patienten

(3%) ist der neurologische Befund wegen Bewußtlosigkeit nicht beurteilbar, bei 9 Patienten (14%) wurde der neurologische Befund nicht dokumentiert.

### 3.3.2. Wirbelkörperfrakturen: Lokalisationen und Typen

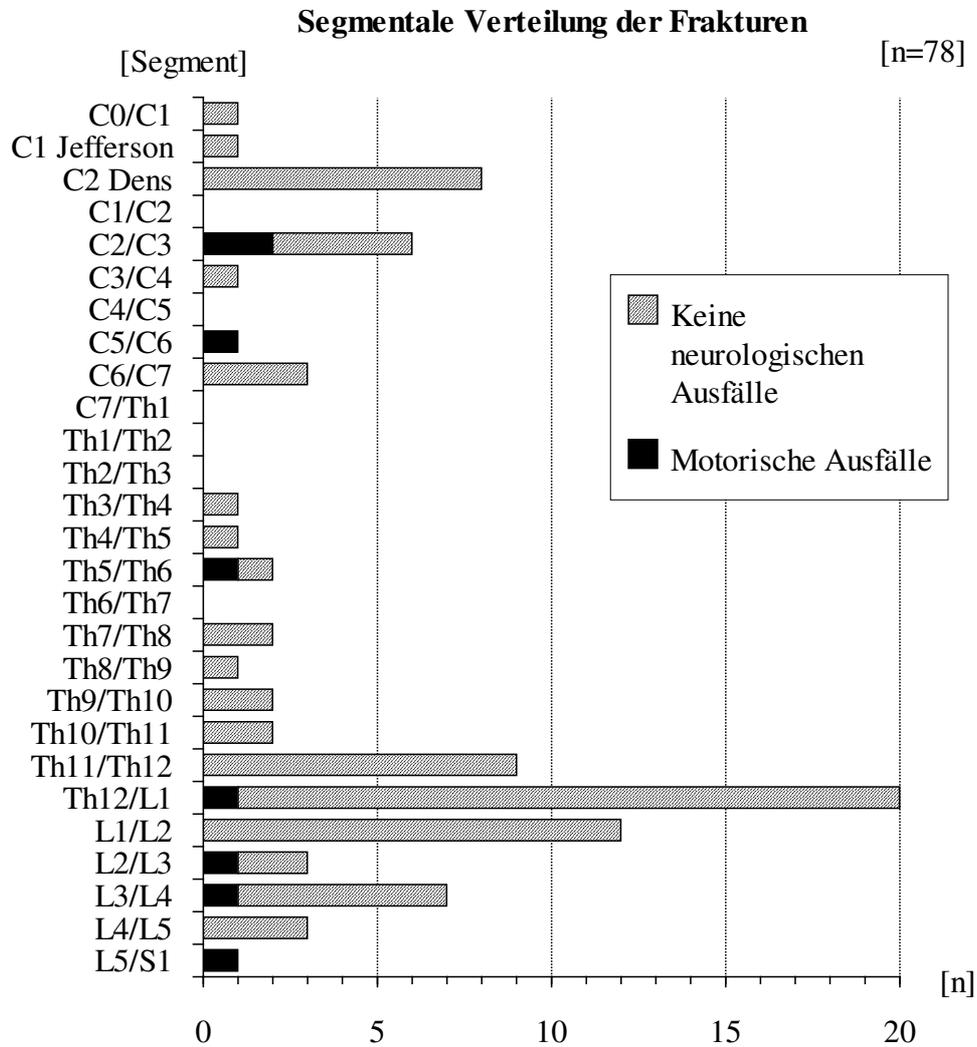


Abb. 11: Segmentale Verteilung der Wirbelkörperfrakturen und neurologischen Ausfälle

21 Frakturen (24%) betreffen die Halswirbelsäule, 20 (23%) die Brust- und 46 (53%) die Lendenwirbelsäule. Das am häufigsten betroffene Wirbelsegment ist Th12/L1 (Abb. 11). Allein in diesem Segment finden sich 20 Frakturen (23%).

## Brust- und Lendenwirbelkörperfrakturen [n=66]

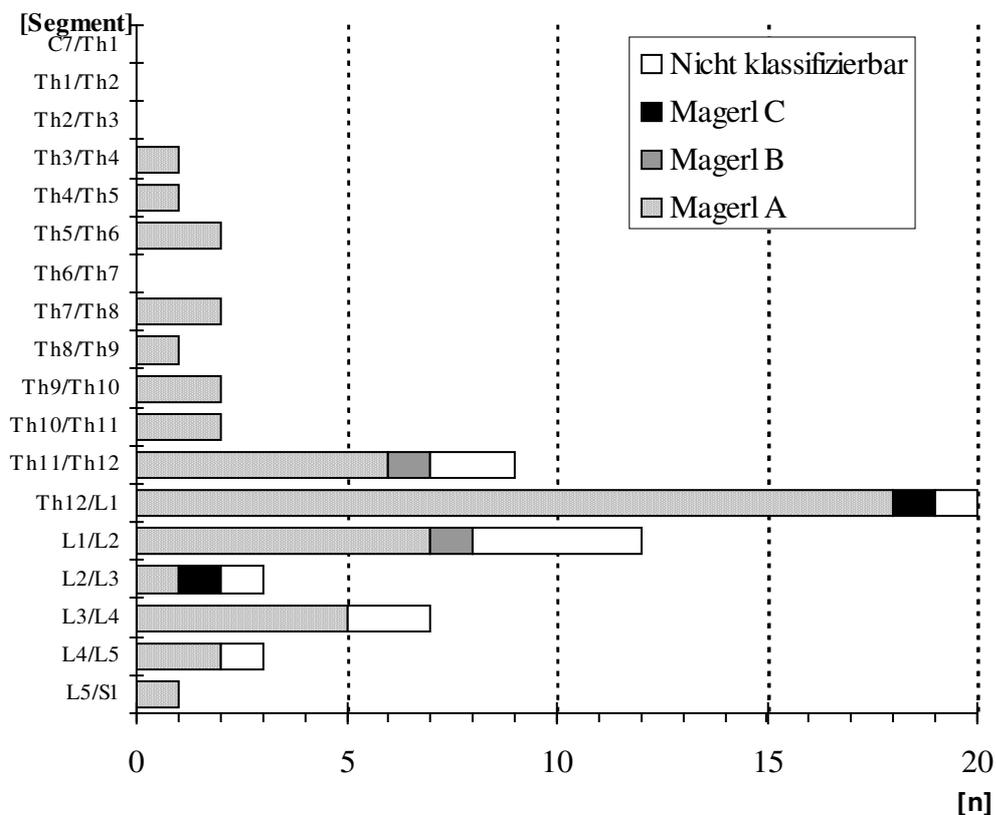


Abb. 12: Klassifikation der Wirbelkörperfrakturen nach MAGERL

Von insgesamt 66 Brust- und Lendenwirbelsäulenfrakturen konnten 55 (83%) nach MAGERL klassifiziert werden (vgl. Abb. 12). 51 Frakturen (92%) entsprechen einer A-Fraktur, 2 (4%) einer B-Fraktur und 2 (4%) einer C-Fraktur. Die Häufigkeitsverteilung entspricht bei A-Frakturen der des Gesamtpatientengutes, bei B-Frakturen kann keine Häufung festgestellt werden und C-Frakturen treten nur in der LWS auf.

### 3.3.2.1. Diagnosenstellung

Am Unfallort wurde in 62% aller Fälle die Wirbelsäulenverletzung erkannt, in 20% wurde die korrekte Diagnose erst nach der Einweisung in die Klinik gestellt. In 12 Fällen (18%) liegt keine eindeutige Dokumentation durch den einweisenden Arzt vor.

## 3.4. Therapie

### 3.4.1. Konservative Therapie

44 (68%) Patienten wurden konservativ behandelt, das Durchschnittsalter dieser Gruppe beträgt 45 Jahre. Bei den 18 männlichen Patienten dieser Gruppe beträgt das Durchschnittsalter

43 Jahre, bei den 26 weiblichen Patienten 46 Jahre. Im Untersuchungszeitraum wurden 9 HWS-Frakturen (davon 4 Densfrakturen), 15 BWS-Frakturen und 30 LWS-Frakturen konservativ behandelt.

Die Indikation zur konservativen Therapie wurde gemäß der Anzeigenstellung in der Klinik für Unfallchirurgie der CAU Kiel in 37 Fällen (67%) wegen der geringen Deformierung des verletzten Wirbelkörpers gestellt, gefolgt von 10 Fällen (18%) wegen des Alters des Patienten, 5 (9%) wegen Begleitverletzungen und 3 (5%) wegen sonstigen Risikofaktoren.

Alle konservativ versorgten Patienten erfüllen die Kriterien des Indikationskataloges für konservative Wirbelbruchbehandlung.

Die angewandten Verfahren sind in 25 Fällen (57%) Bettruhe, in 6 Fällen (14%) mit lordosierender Lagerung. Die Frakturen wurden in 8 Fällen (18%) zunächst in Gipsriegelgeschalen stabilisiert, bei beginnender Konsolidierung erfolgte die Mobilisation in 7 Fällen (16%) mit Hilfe von Orthesen. Anwendung findet vor allem der SCHANZ'sche Kragen bei Frakturen der Halswirbelsäule sowie das Dreipunkt-Stützkorsett bei Frakturen im Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule.

#### 3.4.2. Operative Therapie

21 (32%) der Patienten wurden operativ behandelt, das Durchschnittsalter beträgt 41 Jahre. Bei den 12 männlichen Patienten dieser Gruppe beträgt das Durchschnittsalter 33 Jahre, bei den 9 weiblichen Patienten 52 Jahre. 9 HWS-Frakturen (davon 4 Densfrakturen), 4 BWS-Frakturen und 11 LWS-Frakturen wurden operativ versorgt.

Auch die Indikation zur operativen Therapie ergab sich aus Art und Grad der Verletzung (vgl. 1.1.5 und 1.1.6). Alle Patienten erfüllen die Kriterien des beschriebenen Indikationskatalogs.

Aufgrund einer zunehmenden neurologischen Symptomatik mußte der operative Eingriff in 5 Fällen (24%) unter notfallmäßigen Bedingungen erfolgen.

Je nach Muster und Lokalisation der Verletzung wurden die folgenden Operationsverfahren gewählt: In 7 Fällen (33%) interne Fixation nach DICK, davon 1 Fall (5%) mit Querstabilisation zwischen den Gewindestäben, in 3 Fällen (14%) Plattenfixateur, 6 (29%) H-Platten, 2 (10%) modifizierte Drahtzügelungsosteosynthesen und 2 (10%) isolierte Schraubenosteosynthesen. In 4 Fällen (19%) war eine Laminektomie notwendig. In 15 Fällen (71%) wurde autologes Knochenmaterial zur Verblockung oder Defektauffüllung verwendet, wobei die transpedikuläre Spongiosaplastik das am häufigsten verwandte Verfahren ist (8 Fälle, 38%).

#### 3.4.2.1. Materialentfernung

Im Durchschnitt wurde das eingebrachte Osteosynthesematerial nach 12 Monaten ( $\sigma=5,2$  Monate) entfernt. Die Fixateurs internes wurden bereits nach 9 Monaten ( $\sigma=2,9$  Monate) entfernt.

#### 3.4.2.2. Materiallockerung und -bruch

In 5 Fällen (24%) kam es zum Bruch einer oder mehrerer SCHANZ-Schrauben. In 2 Fällen war das Material gelockert, wobei bei einem dieser Patienten gleichzeitig ein Schraubenbruch feststellbar war.

#### 3.4.2.3. Histologische Untersuchung

Die histologischen Untersuchungen der bei jeder Materialentfernung entnommenen Gewebeproben zeigen in allen Fällen bräunlich-sulzige Metallose in Skelettmuskel- und unspezifischem Bindegewebe ohne Hinweise auf Malignität.

#### 3.4.2.4. Infektionen

Aus den bei der Materialentfernung aus den Plattenlagern und Schraubenkanälen genommenen bakteriologischen Abstrichen sind in 5 Fällen Keime angezüchtet worden. Es handelt sich hier vorwiegend um niederpathogene Hautkeime, die in nur einem Fall einen klinisch manifesten Materiallagerinfekt hervorriefen, der zu vorzeitiger Materialentfernung und Wechsel zur konservativen Behandlung führte. In einem Fall führte eine klinisch inapparente Infektion des Materiallagers zu einer Schraubenlockerung, die jedoch erst bei der planmäßigen Materialentfernung diagnostiziert wurde.

#### 3.4.2.5. Revisionseingriffe

Bei einem Patienten machte eine bei der postoperativen CT-Kontrolle festgestellte Dorsalverlagerung des eingebrachten kortikospongiösen Spans einen Revisionseingriff notwendig, bei dem der Span entnommen und durch einen anderen kortikospongiösen Span ersetzt wurde. In einem anderen Fall mußte nach postoperativer Feststellung eines weiterhin in den Spinalkanal ragenden Knochenfragments revidiert werden. Eine Schädigung von Myelon oder Cauda konnte jedoch auch hier intraoperativ nicht festgestellt werden, da vorher bereits Laminektomiert worden war und das Fragment lediglich eine leichte Verdrängung, nicht aber eine Kompression des Nervengewebes hervorrief. In beiden Fällen kam es im weiteren Verlauf zu einer Persistenz der präoperativ bestehenden neurologischen Symptome.

### 3.4.2.6. Sonstige Komplikationen

In je einem Fall mußte die Wunde wegen einer Nachblutung und einer Liquorfistel nach Myelographie revidiert werden. Der Verschuß der Liquorfistel machte eine Laminektomie erforderlich.

Ein Patient litt nach einem Eingriff an der unteren Halswirbelsäule an einer vorübergehenden Parese des N. laryngeus inferior (recurrens) rechts, die jedoch bis zu ihrem Abklingen einige Wochen später keiner Therapie bedurfte.

## 3.5. Radiologische Untersuchungen

Insgesamt konnten 178 Nativ-Röntgenbilder, 86 CT-Bilder und 18 MRT-Bilder ausgewertet werden.

### 3.5.1. Wirbelkörpermaße im Nativ-Röntgen und Frakturindices

Es wurden für jede Wirbelkörperfraktur zu jedem Untersuchungszeitpunkt 45 Meßparameter erfaßt. Aus den Daten der ausschließlich knöchernen Strukturen errechnet sich der Frakturindex  $FI_A$ , der  $FI_B$  bezieht den dem verletzten Wirbel kranial benachbarten Intervertebralraum mit ein (vgl. 2.3.1.1.4, S. 18).

Wenn nicht anders angegeben, beziehen sich Prozentangaben stets auf den Sollwert des entsprechenden Parameters. Zur statistischen Überprüfung des Therapieeffekts im Sinne einer Zu- oder Abnahme des Prozentwerts wurde der *t-Test für abhängige Stichproben* angewandt.

Die im folgenden beschriebenen Ergebnisse beziehen sich jeweils auf zwei Beobachtungszeiträume:

1. Vom Zeitpunkt der stationären Aufnahme bis zur Entlassung aus stationärer Behandlung sowie
2. vom Zeitpunkt der stationären Aufnahme bis zur Nachuntersuchung 12 Monate später.

Es sei darauf hingewiesen, daß nicht die Patientenkollektive anhand der **Absolutwerte** zu einem bestimmten Zeitpunkt miteinander verglichen werden, sondern lediglich die **Änderung** der Meßwerte und die Signifikanz der Änderung unter der jeweiligen Therapie. Diese Betrachtungsweise läßt auf das therapeutische Potential der angewandten Therapie schließen.

### 3.5.1.1. Veränderung der **knöchernen** Einzelparameter

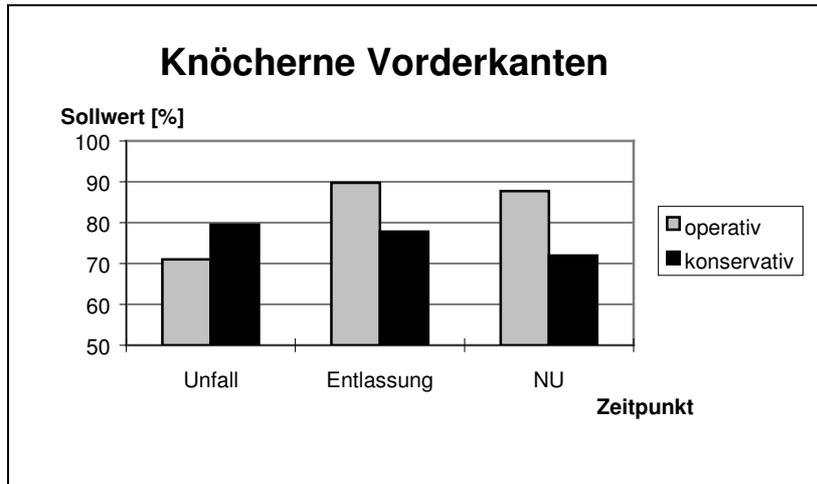


Abb. 13: Verlauf der knöchernen Deformierung der Wirbelkörper-vorderkanten bei operativer und konservativer Therapie

Bei den **konservativ** behandelten Patienten zeigen die Vorderkanten als einziger Parameter eine konstante Höhenabnahme vom Aufnahmezeitpunkt bis zur Nachuntersuchung. Zur Entlassung ist eine Höhenabnahme um 2,2% zu erkennen, die bis zur Nachuntersuchung auf 7,1% zunimmt (Abb. 13). Das geforderte Signifikanzniveau wird zum Zeitpunkt der Entlassung nicht erreicht

und zum Nachuntersuchungszeitpunkt mit  $p=0,057$  nur knapp verfehlt.

Die Höhe der Hinterkanten entwickelt sich vom Zeitpunkt der Aufnahme bis zur Nachuntersuchung uneinheitlich. Die Höhe der rechten und linken Wirbelkörperseitenkante stellt sich bis zur Entlassung gegenüber dem Aufnahmezeitpunkt um durchschnittlich 4,2% (re.) und 3,9% (li.) vermindert dar. Zum Nachuntersuchungszeitpunkt beträgt die Höhenminderung nur noch 2,9% (re.) und 2,6% (li.). Keine dieser Höhenminderungen ist signifikant.

Bei den **operierten** Patienten zeigt die Wirbelkörper-vorderkante bis zum Entlassungszeitpunkt eine Aufrichtung um 18,9% mit  $p=0,022$  und bis zur Nachuntersuchung eine mit  $p=0,033$  ebenfalls signifikante Höhenzunahme von noch 16,5%.

Die Höhe der Hinterkanten entwickelt sich vom Aufnahmezeitpunkt bis zur Entlassung uneinheitlich und nimmt bis zur Nachuntersuchung nicht signifikant um 7,5% zu. Die Seitenkanten nehmen ebenfalls an Höhe zu (12% re. und 8,2% li. bis zur Entlassung, 6,6% re. und 7% li. bis zur Nachuntersuchung) jedoch nicht mit dem geforderten Signifikanzniveau.

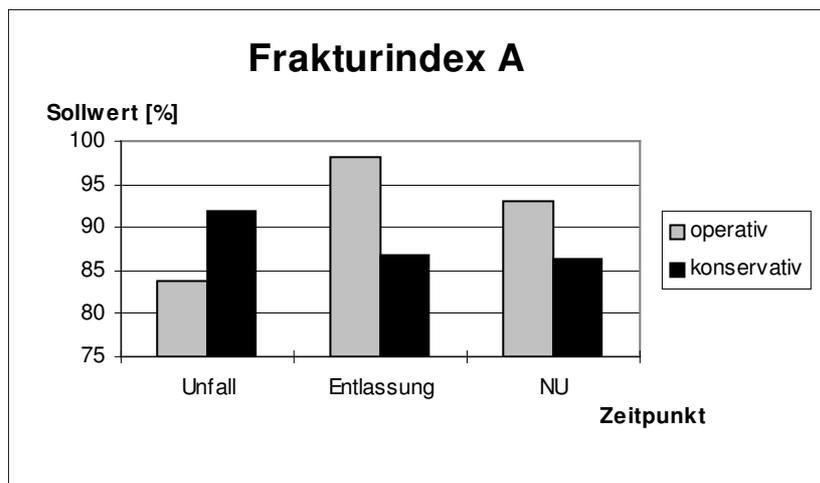
3.5.1.2. Veränderung des  $FI_A$ 

Abb. 14: Verlauf der Wirbelkörperkompression bei operativer und konservativer Therapie

Der Frakturindex  $FI_A$  zeigt als arithmetisches Mittel der knöchernen Einzelparameter nach **konservativer** Behandlung zum Entlassungszeitpunkt eine nicht signifikante Höhenabnahme um 4,7% bei einem mittleren Ausgangswert von 92% der Sollhöhe (Tab. 13, S. 52). Bei der Nachuntersuchung beträgt die Verschlechterung gegenüber dem Aufnahmezeitpunkt 5,9%, dabei wird

das geforderte Signifikanzniveau nur knapp verfehlt:  $p=0,064$  (Tab. 14, S. 52).

Der  $FI_A$  (Abb. 14) zeigt bei **operativer** Therapie vom Aufnahmezeitpunkt bis zur Entlassung eine signifikante ( $p=0,016$ ) Höhenzunahme um 14,2% (Tab. 15, S. 52), bis zur Nachuntersuchung beträgt die Höhenzunahme 9,3% mit  $p=0,148$  (Tab. 16, S. 53). Der mittlere Ausgangswert beträgt in dieser Gruppe 83,9% des Sollwertes.

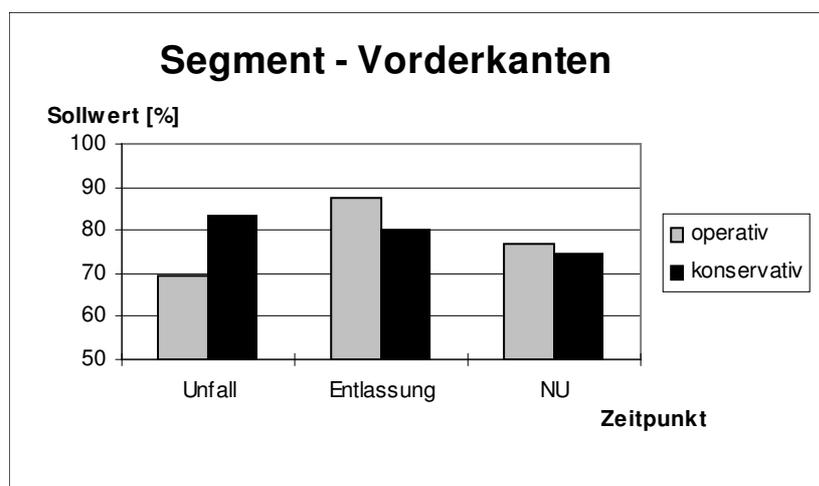
3.5.1.3. Veränderung der **segmentalen** Einzelparameter

Abb. 15: Verlauf der Deformierung der Segmentvorderkanten bei operativer und konservativer Therapie

Bei den konservativ behandelten Patienten zeigen die Vorderkanten der verletzten Bewegungssegmente bei konservativer Therapie bis zur Entlassung eine mit  $p=0,038$  signifikante Höhenabnahme um 4%, bis zur Nachuntersuchung haben sich die Vorderkanten ebenfalls signifikant mit  $p=0,030$  um 7,8% gegenüber dem Aufnahmezeit-

punkt verschlechtert (Abb. 15).

Die Seitenkanten der Intervertebrärräume werden nicht vermessen, somit unterscheiden sich die Seitenkantenwerte nicht von denen im  $FI_A$ . Die Höhe der Hinterkanten entwickelt sich über den gesamten Beobachtungszeitraum uneinheitlich.

Bei den **operierten** Patienten nimmt die Höhe der Vorderkante der verletzten Bewegungssegmente bis zur Entlassung signifikant ( $p=0,037$ ) um 18,5% zu, während bis zur Nachuntersuchung noch 7,3% Höhenzunahme bei großer Streuung der Meßwerte gefunden wird.

Die Hinterkanten zeigen nichtsignifikante Verbesserungen bis zur Entlassung um 2,2% und bis zur Nachuntersuchung um 8,5% gegenüber dem Aufnahmezeitpunkt.

#### 3.5.1.4. Veränderung des $FI_B$

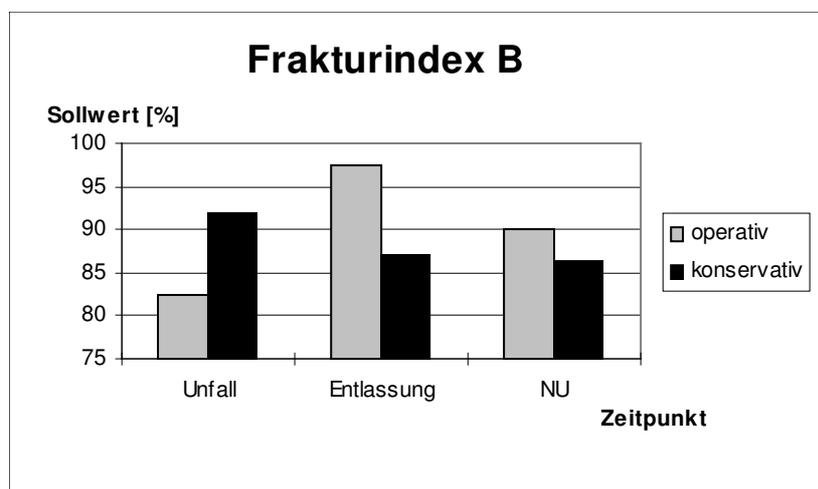


Abb. 16: Verlauf der Wirbelsegmentkompression bei operativer und konservativer Therapie

Zum Entlassungszeitpunkt hat sich der  $FI_B$  bei **konservativ** behandelten Patienten von einem mittleren Ausgangswert von 92% des Sollwertes nichtsignifikant um 4,6% verschlechtert (Tab. 17, S. 53), bei der Nachuntersuchung zeigt sich eine Verschlechterung um 5,9% gegenüber dem Ausgangswert, wobei das geforderte Signifikanzniveau mit  $p=0,076$  knapp verfehlt wird (Tab. 18, S. 53).

Zum Entlassungszeitpunkt hat sich der  $FI_B$  (Abb. 16) nach **operativer** Therapie von einem mittleren Ausgangswert von 82,5% der Sollhöhe hochsignifikant ( $p=0,009$ ) um 15% verbessert (Tab. 19, S. 54), bei der Nachuntersuchung findet sich bei großer Meßwertstreuung eine Verbesserung um 7,3% gegenüber dem Aufnahmezeitpunkt (Tab. 20, S. 54).

#### 3.5.2. Der Spinalkanal

Die Weite des Spinalkanals wird aus CT-Analysen berechnet.

Bei konservativer Therapie entwickelt sich die Spinalkanalstenose aller Wirbelsäulenabschnitte bis zum Nachuntersuchungszeitpunkt uneinheitlich. Läßt man jedoch die Halswirbelsäule außer Betracht, verschlechtert sich die Spinalkanalstenose im Sinne einer weiteren Ver-

engung um 5,2%, wobei das geforderte Signifikanzniveau knapp verfehlt wird. Die Spinalkanalweite hat in dieser Gruppe zum Unfallzeitpunkt 87% der Sollweite.

Postoperativ verbessert sich die Spinalkanalweite in allen Wirbelsäulenabschnitten. Das nötige Signifikanzniveau wird nur bei den Verlaufswerten der Brust-/Lendenwirbelsäule erreicht. Der zum Aufnahmezeitpunkt auf durchschnittlich 74,2% der Sollweite eingengegte Spinalkanal kann durch operative Therapie bis zum Nachuntersuchungszeitpunkt um 23,8% auf 98% des Sollwertes aufgeweitet werden.

### 3.5.3. MRT: Das Weichgewebe

Insgesamt wurden 18 MRT-Untersuchungen ausgewertet, davon sind 10 zum Nachuntersuchungszeitpunkt und 8 zum Aufnahmezeitpunkt durchgeführt worden. Bei 5 Patienten liegen sowohl Aufnahme- als auch Nachuntersuchungsdaten vor.

Bei 7 Patienten wird zum Aufnahmezeitpunkt ein Ödem im Bereich der Wirbelkörperfraktur festgestellt, das 12 Monate später in allen Fällen nicht mehr nachweisbar ist. Eine Ruptur des dorsalen Längsbandes findet sich bei Aufnahme in einem Fall, eine Einblutung in das Band in 3 Fällen. Alle Einblutungen oder Verletzungen des dorsalen Längsbandes sind ein Jahr nach der Verletzung nicht mehr nachweisbar.

Das Myelon zeigt in einem Fall eine subdurale Einblutung, kombiniert mit einer Rückenmark-Kontusion. Die Einblutung ist in Form einer Syrinx auch bei der Nachuntersuchung noch sichtbar, während das Parenchym keine Zeichen der Kontusion mehr erkennen lässt (vgl. 7.1.2, S. 45).

Frisch verletzte Bandscheiben in der Nachbarschaft des frakturierten Wirbels bilden sich im MRT höhengemindert ab mit einer Anhebung des Signals zur eingebrochenen Deck- oder Bodenplatte des Wirbels hin. Bei 4 Patienten ist allein die kraniale Bandscheibe verletzt, bei einem Patienten nur die kaudale und bei 2 Patienten beide benachbarten Bandscheiben. Nur in einem Fall ist keine Verletzung einer Bandscheibe nachweisbar.

Alte Bandscheibenverletzungen mit degenerativen Prozessen zeigen im MRT Signalminde-rungen im Bereich des Nucleus pulposus. Zum Nachuntersuchungszeitpunkt zeigen 2 Patienten eine Degeneration der kranialen Bandscheibe, ein Patient der kaudalen Bandscheibe und 3 Patienten beider benachbarter Bandscheiben. Von den 5 im Verlauf beurteilbaren Patienten zeigt in 2 Fällen jeweils eine zuvor verletzte Bandscheibe zur Nachuntersuchung keine Signalabweichungen mehr. In 3 Fällen ist die Verletzung weiterhin erkennbar.

**Zusammenhänge** zwischen den Schmerzangaben der Patienten und den durch die MRT aufgezeigten Weichteilveränderungen konnten nicht festgestellt werden.

### 3.6. Beschwerdebild

35 Patienten (83%) äußerten, daß sie mit dem Behandlungsergebnis zufrieden seien. 7 Patienten (17%) sind mit dem Ergebnis nicht zufrieden.

#### 3.6.1. Bewegungseinschränkungen

Zum Nachuntersuchungszeitpunkt beträgt die Beweglichkeit des betroffenen Wirbelsäulenabschnitts (Brust-/Lendenwirbelsäule, Halswirbelsäule) durchschnittlich 89,2% des Sollwertes. Die Beweglichkeit der operativ versorgten Patienten beträgt 80%, die der konservativ behandelten 94% des Sollwertes. Der Unterschied zwischen diesen Gruppen ist signifikant ( $\chi^2=7,09$ ;  $p=0,008$ ).

Nach Verletzungen der Halswirbelsäule beträgt die durchschnittliche Beweglichkeit zum Nachuntersuchungszeitpunkt insgesamt 78% des Sollwertes. Bei operativ versorgten Patienten ist die Beweglichkeit 77%, bei konservativ versorgten 83%. Der Unterschied zwischen den Therapiegruppen ist bezüglich der Halswirbelsäulenbeweglichkeit nicht signifikant.

Nach Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule beträgt die durchschnittliche Beweglichkeit zum Nachuntersuchungszeitpunkt insgesamt 93% des Sollwertes. Der Unterschied der Beweglichkeit zwischen operativ (84%) und konservativ (95%) versorgten Patienten ist signifikant ( $\chi^2=3,98$ ;  $p=0,046$ ).

#### 3.6.2. Schmerz

63% der befragten Patienten haben keine oder nur leichte Beschwerden. Kein Patient gibt an, ständig unerträgliche Schmerzen zu haben. Nach operativer Therapie wird am häufigsten Beschwerdefreiheit, nach konservativer Therapie am häufigsten leichte Beschwerden angegeben (Tab. 2, S. 48).

Mittels des *KRUSKAL-WALLIS H-Tests* wird versucht, einen signifikanten Mittelwertunterschied in der abhängigen Variable für die intervallskalierten Schmerzangaben der Patienten zu zeigen. Der Test zeigt bei den Parametern FI<sub>A</sub>, FI<sub>B</sub>, kranialer und kaudaler Intervertebralraum vorne, mitte und hinten keine signifikanten Mittelwertunterschiede.

Zwischen den geklagten Schmerzen und dem Grad der Bewegungseinschränkung kann ebenfalls kein Zusammenhang auf dem geforderten Signifikanzniveau gezeigt werden. Lediglich im Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule besteht ein Trend ( $r=0,431$ ) zu größeren Beschwerden bei zunehmender Einschränkung der Beweglichkeit.

### 3.6.3. Arbeits-, Berufs- und Erwerbsfähigkeit

Die Arbeitsfähigkeit war in 58% der dokumentierten Fälle 6 Monate nach dem Unfall wiederhergestellt. Bei konservativ versorgten Patienten war die Arbeitsunfähigkeit von kürzerer Dauer (Tab. 3, S. 48).

Wegen Berufsunfähigkeit mußten 3 Patienten den Beruf wechseln, bei weiteren 2 Patienten besteht eine dauernde Erwerbsunfähigkeit (Tab. 7, S. 49).

### 3.6.4. Liegedauer

Die Dauer des stationären Aufenthalts ist in der konservativen Patientengruppe bis 12 Wochen annähernd gleich verteilt, während 94% der operativ versorgten Patienten die Klinik bereits nach spätestens 4 Wochen verlassen hatten (Tab. 8, S. 50).

## 3.7. Neurologie

In 59 Fällen (91%) ist eine neurologische Aufnahmeuntersuchung dokumentiert. Diese Untersuchung zeigt in 85% keine neurologischen Ausfälle und in 10% pathologische neurologische Befunde von radikulären Beschwerden bis zum kompletten Querschnittsyndrom (Tab. 9, S. 50). Im weiteren Verlauf blieben die neurologischen Ausfälle bei konservativer Therapie in allen Fällen unverändert, während die operative Therapie in 43% eine Verbesserung erreichte (Tab. 10, S. 50).

## **4. Diskussion**

### **4.1. Studiendesign und Statistik**

Bei der hier vorliegenden Studie handelt es sich um eine retrospektive Untersuchung an Patienten, die nach bestehenden Erkenntnissen über Fraktur- und Therapieformen einer definierten Behandlung zugeführt worden sind und somit im statistischen Sinne nicht mehr einer Grundgesamtheit angehören. Ein Querschnittvergleich zwischen den Ergebnissen operativer und konservativer Frakturbehandlung könnte nur im Rahmen einer prospektiven randomisierten Studie durchgeführt werden. Dies hätte, nach heutigem Kenntnisstand der Wirbelsäulenchirurgie, für eine Vielzahl von Patienten erhebliche nachteilige Folgen und ist somit ethisch nicht vertretbar.

### **4.2. Patientengut und Nachuntersuchung**

Die meisten angeschriebenen Patienten standen der Nachuntersuchungsstudie aufgeschlossen und kooperativ gegenüber. Die Motivation derjenigen Patienten jedoch, die sich die Verletzung etwa im Rahmen eines Suizidversuchs oder einer anderen psychiatrischen Erkrankung zugezogen hatten, war deutlich geringer. Einige ältere Patienten konnten zur Untersuchung wegen ihrer Gebrechlichkeit nicht erscheinen, jüngere Patienten geben vor allem Desinteresse und Ablehnung der mit Strahlenbelastung verbundenen Untersuchungen als Gründe für ihre Weigerung an. Einige Patienten hatten sich die Verletzung im Rahmen eines Urlaubs oder einer Dienstreise zugezogen und haben ihren Wohnsitz in großer Entfernung. Der Anteil an Patienten, deren Aufenthaltsort nicht ermittelt werden konnte, ist mit 23% relativ groß. 3 Patienten waren zum Nachuntersuchungszeitpunkt verstorben.

Die genannten Umstände führten dazu, daß nur 35 (55%) der Patienten, die die Aufnahmekriterien erfüllten, klinisch und radiologisch nachuntersucht werden konnten.

### **4.3. Wirbelkörperfrakturen**

Die typische Häufung der Wirbelkörperfrakturen am Übergang der Brust- in die Lendenwirbelsäule erklärt sich durch die Tatsache, daß der Wechsel von der Brustkyphose zur Lendenlordose eine Zone erhöhter mechanischer Beanspruchung darstellt. Starke axiale Impulsbelastungen können im Brust- und Lendenbereich durch die Krümmung der Wirbelsäule bis zu einem gewissen Grad elastisch aufgefangen werden, am thorakolumbalen Übergang jedoch führen sie zur Impaktion oder Abscherung.

#### 4.3.1. Komplikationen

Materialbrüche, insbesondere an den SCHANZ-Schrauben, fanden bis auf eine Ausnahme in der Spätphase der Frakturkonsolidierung infolge Materialermüdung statt und hatten im Vergleich zu Verläufen ohne Materialbruch keine nachteiligen Auswirkungen auf das Behandlungsergebnis. Diese Tatsache, die auf eine deutlich vor der Materialentfernung eingetretene Belastungsstabilität hinweist, hat in der Vergangenheit bereits zu einer kürzeren Verweildauer des Fixateurs geführt. Neuere Entwicklungen des Fixateur interne [Dvorak et al. 1993] besitzen trotz dünnerer Schrauben- und Gewindestangendurchmesser eine höhere Festigkeit, da die Klemmbacken und Gewindestangen dem Wirbelbogen angenähert werden konnten. Dies bedingt geringere Hebelkräfte und damit eine geringere Materialbelastung.

Die relativ hohe Infektionsrate (24%) verliert angesichts der Tatsache, daß in nur einem Fall (5%) eine klinisch manifeste Materiallagerinfektion entstand, an Bedeutung.

#### 4.3.2. Interpretation der meßtechnischen Ergebnisse

Stellt man die Ausgangswerte (Unfallzeitpunkt) der beiden Patientenkollektive gegenüber, stellt man fest, daß die operativ behandelten Patienten zum Aufnahmezeitpunkt eine größere Abweichung vom anatomischen Sollwert zeigen (also schwerer verletzt sind) als die konservativ behandelten Patienten: Dies ist lediglich Ausdruck der Tatsache, daß der Verletzungsgrad ein wichtiges Kriterium bei der Zuweisung der Patienten zur jeweiligen Therapiegruppe ist.

Zwischen der Entlassung aus stationärer Therapie und der Nachuntersuchung 12 Monate nach der Verletzung wird den operativ behandelten Patienten das Osteosynthesematerial wieder entnommen. Nach der Materialentfernung, die zwischen dem Entlassungs- und Nachuntersuchungstermin liegt, kommt es zu einem teilweisen Verlust der durch die Operation gewonnenen Aufrichtung. Diese „Nachsinterung“ ist durch den Wegfall der Stabilisierung durch das Osteosynthesematerial zu erklären. In der Gruppe der konservativ behandelten Patienten zeigt sich ein anderer Verlauf: Die Nachsinterung geschieht im Wesentlichen während des stationären Aufenthalts. Bis zur Nachuntersuchung nach einem Jahr verändert sich die Wirbelkörperhöhe nur noch geringfügig. Diese unterschiedliche Verlaufsform findet sich bei Betrachtung allein der knöchernen Strukturen (Abb. 14, S. 28), sowie - noch ausgeprägter - bei Einbeziehung des gesamten Bewegungssegments (Abb. 16, S. 29).

Erst die Analyse der Einzelkomponenten der Frakturindices zeigt neben dem quantitativen einen qualitativen Unterschied zwischen den Verläufen der operativen und konservativen Behandlung: Der Korrekturverlust an der **Vorderkante** des **Segments** (Abb. 15, S. 28) ist nach operativer Therapie deutlicher als im gleichen Zeitraum bei konservativer Therapie, während der Korrekturverlust an der **Vorderkante** des **Wirbelkörpers** (Abb. 13, S. 27) geringer als die Sinterung nach konservativer Therapie ist.

Die Tatsache, daß die Vorderkante der Zwischenwirbelräume (als Differenz zwischen Wirbelkörper und Segment) überproportional zu dem Korrekturverlust nach Entfernen des Osteosynthesematerials beiträgt, ergibt einen Hinweis darauf, daß ein sich nach der Materialentfernung wieder ausbildender geringgradiger kyphotischer Achsenknick der Wirbelsäule aus einem anterioren Höhenverlust der Zwischenwirbelscheibe resultiert. Die Vorderkante des Wirbelkörpers ist von dem Korrekturverlust nach der Materialentfernung nur gering betroffen. Ob dies aus einer durch Biegung des Osteosynthesematerials ventral zuerst einsetzenden biomechanischen Belastung resultiert oder andere Gründe besitzt, kann anhand der für diese Fragestellung zu geringen Fallzahl nicht beantwortet werden und muß im Rahmen einer nachfolgenden Studie geklärt werden.

Der Korrekturverlust der operativ behandelten Patienten nach der Materialentfernung und die Nachsinterung über den gesamten Beobachtungszeitraum bei den konservativ behandelten Patienten zeigt, daß die Festigkeit eines gebrochenen Wirbels sich erst nach seiner physiologischen axialen Belastung wieder einstellt. Die Osteosynthese in aufgerichteter Stellung entlastet die Fraktur und kann daher das Ausmaß der Aufrichtung über die Materialentfernung hinaus nicht sicherstellen. Die Tatsache jedoch, daß die operativ behandelten Patienten postoperativ fast ihre normale Wirbelkörperhöhe wiedergewonnen haben und zum Nachuntersuchungszeitpunkt trotz einer primär schwereren Verletzung immer noch eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Unfallzeitpunkt aufweisen, die konservative Therapie jedoch eine weitere Höhenabnahme des gebrochenen Wirbelkörpers nicht verhindern kann, spricht aus meßtechnischer Sicht für die operative Therapie.

Die Interpretation der Daten über den Verlauf der **Spinalkanalweite** erfordert korrekterweise den Ausschluß der Halswirbelsäule. Die in diesem Wirbelsäulenabschnitt häufig vorkommenden Brüche des Wirbelbogens führen zu einer Erweiterung des Spinalkanals und würden somit die Daten über traumatische Spinalkanaleinengungen der Brust- und Lendenwirbelsäule verfälschen.

Unter dieser Prämisse zeigt sich auch hier eine signifikante Erweiterung durch operative Intervention, während die konservative Therapie eine weitere Verschlechterung bei allerdings primär geringer Spinalkanaleinengung nach sich zieht.

#### **4.4. MRT: Ein Weg zur gezielteren Therapieplanung ?**

4.4.1. Die Bedeutung des hinteren Längsbandes der Wirbelsäule für den operativen Eingriff  
Bei einer Verletzung der Wirbelkörperhinterwand ist davon auszugehen, daß die vorliegende Fraktur erstens instabil ist und zweitens die Gefahr einer neurologischen Schädigung durch ein in den Spinalkanal ragendes Knochenfragment besteht.

Ziel der Therapie muß daher sein, durch eine dauerhafte Reposition des Knochenfragmentes die Gefahr von neurologischen Früh- und Spätkomplifikationen abzuwenden und durch anatomische Rekonstruktion die spätere Belastbarkeit der Wirbelkörperhinterkante zu ermöglichen. Diese Forderungen werden im Konzept der Ligamentotaxis vereint, indem bei einer Aufrichtung und Stabilisation der Fraktur (etwa durch einen Fixateur interne nach DICK) sich das hintere Längsband der Wirbelsäule in dem betreffenden Bereich wieder anspannt und so das anhaftende Fragment reponiert. Dieser Mechanismus setzt allerdings voraus, daß das Längsband des frakturierten Wirbelsäulenbereichs nur verlagert, nicht aber gerissen ist. Die Bedeutung eines frühen Operationszeitpunktes für das Gelingen dieses Repositionsmanövers ist umstritten [Onimus et al. 1989; Kuner et al. 1992].

Die gezielte präoperative Suche nach Verletzungen des dorsalen Längsbandes mit Hilfe der MRT hat daher eine unmittelbare therapeutische Konsequenz in der Planung des operativen Eingriffs [McArdle et al. 1986; Brightman et al. 1992] und sollte bei jeder Verletzung der Wirbelkörperhinterkante präoperativ durchgeführt werden..

Der Vergleich zwischen präoperativ angefertigten MRT-Bildern und der intraoperativ vorgefundenen Situation ergab, daß biomechanisch relevante Zerreißen des dorsalen Wirbelsäulenlängsbandes durch die MRT gut zu diagnostizieren sind (vgl. 7.1.3, S. 47). Insbesondere bei schwereren Traumen kommt es zu Abhebungen des Längsbandes von der Hinterkante der Wirbelkörper. An solchermaßen frei durch flüssiges oder aufgelockertes Gewebe ziehenden, relativ derben Bindegewebestrukturen läßt sich durch den starken Signalkontrast eine Konturunterbrechung gut erkennen [Brightman et al. 1992].

Obwohl die MRT aus den genannten Gründen in der Primärdiagnostik und Therapieplanung an Bedeutung gewinnt, konnten einige gravierende Nachteile bis heute noch nicht eliminiert werden:

1. die beengten räumlichen Verhältnisse im MR-Tomographen und die Wirkung des starken Magnetfelds auf andere medizinische Geräte stellen die Untersuchung des polytraumatisierten, beatmeten Patienten vor große Probleme.
2. die Untersuchung dauert relativ lange
3. der Patient darf sich während der Untersuchung nicht bewegen
4. die Untersuchung ist teuer

#### **4.5. Die intraoperative Myelographie**

Die Myelographie eignet sich wegen einfacher Durchführbarkeit und sofortiger Aussage gut zur intraoperativen Erfolgskontrolle des Eingriffs. Leider bezieht sich ihre hohe Sensitivität nur auf den Nachweis einer bestehenden Einengung des Markraums, nicht aber auf deren Ausschluß: Bei einem gehinderten Kontrastmittelfluß im Epiduralraum muß von einer Ein-

gung ausgegangen werden. Zeigt sich jedoch aufgrund der Projektion des kontrastmittelgefüllten Periduralraums ein scheinbar normal weiter Spinalkanal, kann durchaus ein spitzes Knochenfragment weit in den Spinalkanal hineinragen und von Kontrastmittel umflossen werden [Russe und Neumann 1988]. Der Nachweis des Repositionserfolges kann also erst im postoperativen CT erfolgen.

#### **4.6. Klinische Untersuchung und Anamnese**

Die „operative“ Patientengruppe wies zum Nachuntersuchungszeitpunkt gegenüber der konservativen Gruppe eine geringere Beweglichkeit im verletzten Segment auf. Dies läßt keinen Rückschluß auf die Qualität der Behandlung zu, da schwerer verletzte Patienten der operativen Therapie zugeführt werden und leichtverletzte Patienten, die teilweise zu keinem Zeitpunkt eine meßbare Bewegungseinschränkung hatten, konservativ behandelt werden..

In gleicher Weise trifft dies auf die Angaben zur Dauer der Arbeits-, Berufs- und Erwerbsunfähigkeit zu.

Bezüglich des Verlaufes neurologischer Störungen zeigt sich die operative Therapie gegenüber der konservativen Behandlung deutlich überlegen (vgl. Tab. 10, S.50).

Ein wichtiger Faktor für die größere Zufriedenheit der operativ versorgten Patienten besteht in der deutlich kürzeren Liegedauer bei operativer Therapie.

#### **4.7. Indikationsstellung**

Der in der Klinik für Unfallchirurgie der Universität Kiel bestehende Indikationskatalog ist in allen Fällen Grundlage für die Entscheidung zur konservativen oder operativen Therapie gewesen.

Die Indikation zur operativen Therapie erfolgt in Abwägung des technisch machbaren gegenüber den Risiken der Operation. Neben den jeder Operation innewohnenden Risiken wie Infektionen, Narkosezwischenfällen, Blutungen oder Thromboembolien ist der Wirbelsäulenchirurg zusätzlich mit der Verletzlichkeit des Nervengewebes, das sich in unmittelbarer Nähe des Operationssitus befindet, konfrontiert. Demgegenüber steht bei einem operativen Eingriff die bessere Möglichkeit zur anatomischen Wiederherstellung des Wirbelkörpers, schnelleres Erreichen der Funktionalität und somit die kürzere Liegedauer und sofortige Belastbarkeit der Wirbelsäule. Dies muß, besonders in Grenzfällen der Operationsindikation, mit dem Patienten im Rahmen der präoperativen Aufklärung detailliert besprochen werden

Angesichts der beschriebenen Ergebnisse erscheint der in der Klinik für Unfallchirurgie der Christian-Albrechts-Universität Kiel bestehende Indikationskatalog für die Therapie der Wirbelkörperfraktur sinnvoll. Die größere Zufriedenheit der operierten Patienten mit dem Behandlungsergebnis, das durch verbesserte Handhabbarkeit und Optimierung der Osteosynthe-

sesysteme gesunkene Operationsrisiko sowie die durch die Liegezeitverkürzung erreichte Kostenreduktion sind Anlaß zu der Überlegung, ob die relative Operationsindikation in Zukunft erweitert werden kann.

#### **4.8. Probleme der Datengewinnung und -auswertung**

Die Vermessung der Nativ-Röntgenbilder von (verletzten) Wirbelsäulenabschnitten für die anschließende rechnergestützte Verarbeitung der gewonnenen Daten wird durch dieselben Probleme erschwert wie sie der Unfallchirurg in seiner täglichen Praxis bewältigen muß:

##### 4.8.1. Gewinnung der Meßdaten

Da die Wirbelsäule kein starrer Achsenstab ist, sondern physiologischerweise in der Sagittalebene drei verschiedene Krümmungen aufweist (Halslordose, Brustkyphose und Lendenlordose bei Vernachlässigung des Kreuz- und Steißbeins), ist die Interpretation der Röntgenprojektion, besonders im anterior-posterioren Strahlengang, schwierig: Die Wirbelkörper sind im Bereich der oberen Brustwirbelsäule mit Übergang zur Halswirbelsäule und im Bereich des fünften Lendenwirbelkörpers wegen der starken Abkipfung zur Achse des Strahlenganges im a.p.-Bild übereinanderprojiziert. Aufgrund dieses Effektes wird das a.p.-Bild in der Primärdiagnostik von einigen Autoren für überflüssig gehalten [Holliman et al. 1991]. Auch wenn die Beurteilbarkeit von einzelnen Wirbelkörpern in dieser Projektion eingeschränkt ist, kann ein Achsenknick in der Frontalebene oder eine Rotationskomponente in einer Wirbelfraktur (durch die abrupte Änderung der Flucht von Dornfortsätzen und Pedikeln) erkannt werden.

Die Seitenaufnahme des cervico-thoracalen Übergangs ist wegen der Überlagerung durch die Schulter häufig auch unter maximalem Zug der Schultern nach kaudal nicht beurteilbar.

##### 4.8.1.1. Die Sonderstellung der Halswirbelsäule

Da die Halswirbelsäule morphologisch und biomechanisch gegenüber der relativ wenig beweglichen, aber lasttragenden Brust- und Lendenwirbelsäule eine Sonderstellung einnimmt, ist die Tatsache, daß die Halswirbelsäule eine andere Häufigkeitsverteilung der Verletzungsmuster aufweist, nicht verwunderlich. So sieht man an der Halswirbelsäule überwiegend Flexions-Distraktionstraumata, während an BWS und LWS Flexions-Kompressionstraumata häufiger sind.

An dieser Stelle muß die Aufnahme eines Parameters, der auf der verwendeten Version des computerlesbaren Askitron-Meßbogens der Deutschen Gesellschaft für Wirbelsäulen Chirurgie nicht vorhanden ist, angeregt werden:

Gerade die Flexionsdistraktionstraumata der Halswirbelsäule gehen oft mit Bogenbrüchen einher. Der Wirbelkörper ist nach Trennung vom Wirbelbogen mit den Wirbelgelenken nur noch mangelhaft in der Horizontalebene stabilisiert und neigt bei axialer Belastung dazu, zur

Konvexe Seite der Wirbelsäulenkrümmung hin auszuweichen. Im Fall der Halswirbelsäulenlordose ist dies die Ventralseite, was im Bereich der Hinterkante zur Bildung einer Stufe führt. Der einzige Meßparameter auf dem Askitron-Bogen, der eine horizontale Translation des Wirbelkörpers mit dorsaler Stufenbildung erfassen könnte, ist die Weite des Spinalkanals, die dabei im Sinne einer Scherung der übereinanderliegenden Wirbelbögen vermindert wäre. Die Trennung des Wirbelkörpers von den dorsalen Wirbelstrukturen bewirkt jedoch, daß in Höhe des verletzten Segments eine Aufweitung des Spinalkanals besteht (diese Aufweitung wird wegen der ausbleibenden Einengung des Myelons als „rettende Bogenfraktur“ bezeichnet).

Da aus den erläuterten Gründen die Messung der Spinalkanalweite die Verhältnisse im Bereich der Fraktur falsch widerspiegelt und ein Meßparameter für die horizontale isolierte Translation eines Wirbelkörpers fehlt, mußten drei Patienten aus der Studie ausgeschlossen werden.

#### 4.8.2. Rechnergestützte Datenauswertung

Sämtliche gewonnenen Meßdaten wurden auf computerlesbare Askitron-Bögen übertragen und anschließend ausgewertet. Hierbei wurde nach der von der Deutschen Gesellschaft für Wirbelsäulenchirurgie inaugurierten parametrischen Meßmethode stets verfahren, daß die Meßwerte jeweils von dem verletzten Wirbel und dem nach kranial und kaudal benachbarten Wirbel genommen wurden. Sinn dieses Verfahrens ist, für den verletzten Wirbel Sollwerte zu ermitteln, die jeweils dem arithmetischen Mittel der an den Nachbarwirbeln erhobenen Meßwerte entsprechen. Die prozentuale Abweichung der tatsächlich gefundenen Werte von diesen Sollwerten ist zusammenfassend gut als Verletzungsgrad objektivierbar.

Diese Annahme kann jedoch zu Fehlinterpretationen führen: Wenn die Verletzung sich in einem Bereich befindet, in dem physiologischerweise zwischen benachbarten Wirbelkörpern relativ große morphologische Unterschiede bestehen (insbesondere bei Vorder- und Hinterkantenhöhen von LWK 4 und 5), oder falls mehrere benachbarte Wirbelkörper verletzt sind, kann der errechnete "Sollwert" nicht dem Ausgangswert vor dem Trauma entsprechen.

## 5. Zusammenfassung

Im Jahr 1991 wurden in der Klinik für Unfallchirurgie im Klinikum der Christian-Albrechts-Universität Kiel 65 Patienten wegen einer Wirbelkörperfraktur stationär behandelt. 68% der Patienten wurden konservativ, 32% wurden operativ behandelt. Ein Jahr nach der Verletzung wurden die Patienten zu einer radiologischen und klinischen Nachuntersuchung einbestellt. Es wurde eine Befragung nach Beschwerden und sozialer Situation sowie eine klinische Untersuchung durchgeführt, Nativ-Röntgenbilder in zwei Ebenen, ein Computertomogramm und - bei Vorliegen einer primären MRT-Untersuchung - eine MRT des verletzten Wirbelsäulenabschnitts angefertigt.

Ziel der Untersuchung ist, neben der Qualitätssicherung Informationen über den klinisch-radiologischen Verlauf und das Beschwerdebild der Patienten zu gewinnen und mit dem konservativen und operativen Behandlungskonzept bei Wirbelbrüchen zu korrelieren.

Die Auswertung der gewonnenen Daten zeigt, daß

1. die operative Therapie wesentlich besser als die konservative Therapie geeignet ist, die korrekte Form des gebrochenen Wirbelkörpers wiederherzustellen und zu halten und
2. die Zufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis nach operativer Therapie mit 88% größer als nach konservativer Therapie (81%) ist.

Ein Jahr nach der Verletzung sind die operativ behandelten Wirbelkörper um 9% aufgerichtet, während sie bei konservativ behandelten Frakturen um weitere 5% gegenüber dem Unfallzeitpunkt an Höhe abgenommen haben. Die sofort erreichte Übungs- und Belastungsstabilität der operativ versorgten Wirbelkörperfraktur bedingt eine kürzere Liegedauer: 4 Wochen nach der Aufnahme sind 94% der operativ behandelten Patienten bereits entlassen, während 31% der konservativ behandelten Patienten bis zu 12 Wochen in stationärer Behandlung sind. Die Beschwerden der operativ versorgten Patienten sind geringer: Knapp die Hälfte (47%) aller operierten Patienten ist beschwerdefrei, während nach konservativer Therapie nur ein Drittel der Patienten Beschwerdefreiheit angibt.

Zwischen den Beschwerdeangaben des Patienten und den in der MRT diagnostizierten Weichteilveränderungen konnte kein Zusammenhang gefunden werden.

Der Indikationskatalog der Klinik für Unfallchirurgie der Universität Kiel zur operativen Therapie bei Wirbelsäulenverletzungen ist in allen Fällen Grundlage für die Entscheidung für die operative oder konservative Therapie gewesen. Die größere Zufriedenheit der operierten Patienten mit dem Behandlungsergebnis, das durch verbesserte Handhabbarkeit und Optimierung der Osteosynthesysteme gesunkene Operationsrisiko sowie die durch die Liegezeitverkürzung erreichte Kostenreduktion sind Anlaß zu der Überlegung, ob die relative Operationsindikation in Zukunft erweitert werden kann.

## 6. Literatur

SPSS Inc. SPSS Ver. 4.0 (1990) Microsoft DOS.

Borland Corporation dBase IV Ver. 2.0 (1993) USA. Microsoft DOS.

Aebi, M., Webb, J.K., Dick, W., Cotta, H., Gertzbein, S.D., Magerl, F., Morscher, E. und Olerud, S. (1992): Wirbelsäule. In: Müller, M.E., Allgöwer, M., Schneider, R. und Willenegger, H. (Hrsg.) Manual der Osteosynthese -- AO-Technik. 3. Aufl., S. 627-682. Springer, Berlin.

Beck, E. (1971): Röntgenologische Messmethoden bei Wirbelbrüchen. Hefte. Unfallheilkd. 108, 36-37.

Benzel, E.C. und Larson, S.J. (1986): Functional recovery after decompressive operation for thoracic and lumbar spine fractures. Neurosurgery. 19, 772-778.

Bertagnoli, R. (1993a): Operative Versorgung von Wirbelsäulenfrakturen - Teil 1. Klinik Magazin 1,

Bertagnoli, R. (1993b): Operative Versorgung von Wirbelsäulenfrakturen - Teil 2. Klinik Magazin 2, 19-21.

Böhler, L. (1935): Wirbelbrüche und Wirbilverrenkungen. Chirurg. 7, 444-759.

Brightman, R.P., Miller, C.A., Rea, G.L., Chakeres, D.W. und Hunt, W.E. (1992): Magnetic resonance imaging of trauma to the thoracic and lumbar spine. The importance of the posterior longitudinal ligament. Spine 17, 541-550.

Chang, K.W. (1992): A reduction-fixation system for unstable thoracolumbar burst fractures. Spine 17, 879-886.

Cobb, J.R. (1948): Outline for the study of scoliosis. In: Edwards (Hrsg.) Instructional Course Lectures. Ann-Arbor, Memphis.

Daniaux, H. (1986): Transpedikuläre Reposition und Spongiosaplastik bei Wirbelkörperbrüchen der unteren Brust- und Lendenwirbelsäule. Unfallchirurg. 89, 197-213.

Denis, F. (1983): The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. Spine 8, 817-311S.

Dick, W. (1984): Innere Fixation von Brust- und Lendenwirbelfrakturen. Aktuel. Probl. Chir. Orthop. 28, 1-125.

Dick, W. (1987): The "fixateur interne" as a versatile implant for spine surgery. Spine 12, 882-900.

- Dvorak, D.M., Rusnak, R.A. und Morcos, J.J. (1993): Multiple trauma in the achondroplastic dwarf: an emergency medicine physician perspective case report and literature review. *Am. J. Emerg. Med.* 11, 390-395.
- Dvorak, J., Valach, L. und Schmid, S. (1987): Verletzungen der Halswirbelsäule in der Schweiz. *Orthopäde.* 16, 2-12.
- Erdmann, H. (1973): Schleuderverletzung der Halswirbelsäule. *Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis* 56, 28-39.
- Harris, J.H., Jr. (1975): The significance of soft tissue injury in the roentgen diagnosis of trauma. *CRC. Crit. Rev. Clin. Radiol. Nucl. Med.* 6, 295-368.
- Heller, M., Jend, H.H. und Wörsdörfer, O. (1993): Wirbelsäule. In: Thelen, M., Ritter, G. und Bücheler, E. (Hrsg.) *Radiologische Diagnostik der Verletzungen von Knochen und Gelenken.* S. 213-260. Thieme, Stuttgart, New York.
- Holliman, C.J., Mayer, J.S., Cook, R.T., Jr. und Smith, J.S., Jr. (1991): Is the anteroposterior cervical spine radiograph necessary in initial trauma screening? *Am. J. Emerg. Med.* 9, 421-425.
- Jend, H.H. und Heller, M. (1989): Stabilitätsbeurteilung bei Wirbelsäulenfrakturen. *Rofo. Fortschr. Geb. Röntgenstr. Neuen. Bildgeb. Verfahr.* 151, 63-68.
- Kollegium Biomathematik NW (1976): *Biomathematik für Mediziner.* 2. Aufl. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Kuner, E.H., Kuner, A., Schlickewei, W. und Wimmer, B. (1992): Die Bedeutung der Ligamentotaxis für die Fixateur-interne- Osteosynthese bei Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule. *Chirurg.* 63, 50-55.
- Magerl, F. und Engelhardt, P. (1994): Brust- und Lendenwirbelsäule. Verlaufsformen. In: Witt, A.N., Rettig, H. und Schlegel, K.F. (Hrsg.) *Orthopädie in Praxis und Klinik, Bd. V/Teil 2 Spezielle Orthopädie Wirbelsäule-Thorax-Becken.* 2. Aufl., S. 3.82-3.131. Thieme, Stuttgart, New York.
- Magerl, F.P. (1984): Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation. *Clin. Orthop.* 125-141.
- McArdle, C.B., Crofford, M.J., Mirfakhraee, M., Amparo, E.G. und Calhoun, J.S. (1986): Surface coil MR of spinal trauma: preliminary experience. *AJNR. Am. J. Neuroradiol.* 7, 885-893.
- Meydam, K., Sehlen, S., Schlenkhoff, D., Kiricuta, J.C. und Beyer, H.K. (1986): Kernspintomographische Befunde beim Halswirbelsäulentrauma. *ROFO. Fortschr. Geb. Röntgenstr. Nuklearmed.* 145, 657-660.

- Modic, M.T., Hardy, R.W.J., Weinstein, M.A., Duchesneau, P.M., Paushter, D. und Boumphey, F.R. (1984): Nuclear magnetic resonance of the spine: clinical potential and limitation. *Neurosurgery*. 15(4), 583-592.
- Murphey, M.D., Batnitzky, S. und Bramble, J.M. (1989): Diagnostic imaging of spinal trauma. *Radiol. Clin. North Am.* 27, 855-872.
- Onimus, M., Laurain, J.M., Fiore, N., Ferre, B. und Zhang, G.H. (1989): Reconstruction vertebrale anterieure du rachis thoracique et lombaire avec instrumentation de Hall-Dwyer en detraction. *Rev. Chir. Orthop. Chung. Hua. Wai. Ko. Tsa. Chih.* 27, 726-731, 780.
- Otte, D., Sandor, L. und Zwipp, H. (1990): Bedeutung und Mechanismen von Brust- und Lendenwirbelsäulenverletzungen bei Verkehrsunfällen. *Unfallchirurg*. 93, 418-425.
- Russe, O.J. und Neumann, K. (1988): Brust- und Lendenwirbelsäule. In: Tscherne, H. und Nerlich, M.L. (Hrsg.) *Repositionstechnik bei Frakturen und Luxationen*. Bd. 197, 1. Aufl., S. 119-151. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo.
- Sances, A., Jr., Myklebust, J.B., Maiman, D.J., Larson, S.J., Cusick, J.F. und Jodat, R.W. (1984): The biomechanics of spinal injuries. *Crit. Rev. Biomed. Eng.* 11, 1-76.
- Saurwein, K.-H. und Hönekopp, T. (1992): *SPSS/PC+ 4.0 - Eine anwendungsorientierte Einführung zur professionellen Datenanalyse*. 2. Aufl. Addison-Wesley, Bonn, München, Paris, Amsterdam, Sydney, Tokio, [u.a.].
- Skuginna, A., Hierholzer, G. und Ludolph, E. (1980): Funktionelle Behandlung bei Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule. *Hefte. Unfallheilkd.* 129-138.
- Tarr, R.W., Drolshagen, L.F., Kerner, T.C., Allen, J.H., Partain, C.L., James, A.E., Jr., Nagahiro, S., Matsukado, Y., Hirata, Y., Saito, Y., Hamada, J., Fukumura, A. und Itoyama, Y. (1987): MR imaging of recent spinal trauma. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 11, 412-417.
- Vogt, B. (1962): Zur Behandlung der Kompressionsfrakturen der unteren Brust- und Lendenwirbelsäule. *Praxis* 20, 515

## 7. Anhang

### 7.1. Kasuistik

#### 7.1.1. Konservative Therapie

Ein 29-jähriger Patient war von einer drei Meter hohen Leiter gestürzt. Auf der Nativ-Röntgenaufnahme im seitlichen Strahlengang (Abb. 17) ist der Einbruch der Deckplatte des ersten Lendenwirbelkörpers und die ventrale Höhenminderung zu erkennen. Die CT-Aufnahme zeigt, daß die Frakturlinien bis in die Hinterkante des LWK1 ziehen und außerdem ein Hinterkantenfragment den Spinalkanal geringfügig einengt. Der Patient konnte zunächst wegen einer Akne mit eitriger Pustelbildung im Verletzungsbereich nicht operiert werden. Bei fehlenden neurologischen Symptomen wurde bei dem nicht therapieeinsichtigen und unkooperativen Patienten schließlich die Indikation zur konservativen Behandlung in der Gipsliegenschale gestellt.

Abb. 17: LWK1-Kompressionsfraktur nach Leitersturz

Im weiteren Verlauf wurde eine funktionelle Übungsbehandlung zur Kräftigung der Rumpfmuskulatur durchgeführt. Bis zur Nachuntersuchung hat sich radiologisch (Abb. 18) und funktionell keine Verbesserung gegenüber dem Zeitpunkt der Entlassung aus stationärer Behandlung ergeben. Der Patient klagt weiterhin über ständige Rückenschmerzen, die ihn zur Aufgabe seines bisherigen Berufes (Elektriker) gezwungen haben.

Abb. 18: LWK1-Kompressionsfraktur nach einem Jahr: Die Keilwirbeldeformität besteht weiter und ist knöchern konsolidiert.

### 7.1.2. Operative Therapie

Eine 21jährige Patientin war im Urlaub als Beifahrerin mit dem Motorrad verunglückt. Am Unfallort bestand eine inkomplette Querschnitt-Symptomatik. Die Patientin wurde am selben Tag mit dem Rettungsflugzeug in die Klinik für Unfallchirurgie der CAU Kiel verlegt. Die daraufhin angefertigten MRT- (Abb. 19) und CT-Bilder zeigten eine Berstungs- und Rotationsfraktur vom Typ MAGERL C mit Einengung des Spinalkanals und Kontusion des Rückenmarkes.

Die unveränderte neurologische Symptomatik zwang zu einer sofortigen operativen Entlastung des gequetschten Rückenmarks.

Abb. 19: MRT-Mediansagittalschnitt des BWS/LWS-Übergangs. Die Keil deformität des frakturierten LWK1 mit dem in den Spinalkanal ragenden Hinterkantenfragment ist deutlich erkennbar. Die Signalminde rung im Zentrum des Myelons über dem Hinterkantenfragment entspricht am ehesten einer Einblutung.

Postoperativ wurde bei zunächst unveränderter neurologischer Symptomatik eine intensive krankengymnastische Übungstherapie durchgeführt.

Abb. 20: Seitliche Röntgenaufnahme des LWK1-Berstungsbruchs: Am oberen Ende der Hinterkante des gebrochenen Wirbels ist die Stufenbildung zum darüberliegenden Wirbel erkennbar.

Abb. 21: Seitliche Röntgenaufnahme nach Versorgung der LWK1-Berstungsfraktur mit einem Fixateur interne nach DICK mit zusätzlicher Querverstrebung. Die Stufe an der Hinterkante ist nicht mehr nachweisbar, das Fragment an der Wirbelkörper-vorderkante ist nahezu in seiner korrekten Position.

Abb. 22: MRT-Mediansagittalschnitt zum Nachuntersuchungszeitpunkt: Der LWK1 hat annähernd seine korrekte Form wiedergewonnen (vgl. Nachbarwirbel). Am Übergang BWK12 - LWK1 ist zentral im Myelon weiterhin die schon auf der primären MRT-Aufnahme (Abb. 19, S. 45) nachweisbare Signalminderung zu erkennen.

### 7.1.3. Das präoperative MRT

Zur Aufnahme kam eine 49jährige Patientin mit Wirbelkörper-Kompressionsfrakturen in mehreren Etagen. Das seitliche Nativ-Röntgenbild zeigte Keil deformierungen der Wirbelkörper Th12 bis L2. Die CT-Diagnostik erbrachte, daß die beiden kranialen Wirbelkörper lediglich an der Vorderkante und den Deckplatten frakturiert waren, während an LWK 2 eine C-Fraktur nach MAGERL vorlag. Aus der Hinterwand des LWK 2 war ein Knochenfragment herausgebrochen und engte den Spinalkanal auf 52% der Sollweite ein (Abb. 23).

Abb. 23: Mediansagittale Rekonstruktion aus CT-Bildern. Das Hinterkantenfragment ist im Horizontalschnitt (unten) und der sagittalen Rekonstruktion zu erkennen.

Die daraufhin durchgeführte MRT-Untersuchung (Abb. 24) bestätigte die Diagnose eines Hinterwandfragmentes und zeigte gleichzeitig das vom LWK 2 abgehobene Längsband. Zusätzlich kann man auf dieser Aufnahme eine diskrete Konturunterbrechung im dorsalen Längsband erkennen, die dicht oberhalb der kranialen Kante des Fragments lokalisiert ist.

Abb. 24: MRT-Untersuchung der unteren Wirbelsäule: Das dorsale Längsband ist im Bereich des Hinterkantenfragments abgehoben und weist Konturunterbrechungen auf.

Intraoperativ zeigte sich, daß das dorsale Längsband tatsächlich gerissen war und es in diesem Fall nicht zu einer ligamentotaktischen Reposition der Fragmente kommen konnte.

## 7.2. Tabellen

| <i>Patient</i>  | <i>konservative Therapie</i> | <i>operative Therapie</i> | <b><i>Gesamt</i></b> |
|-----------------|------------------------------|---------------------------|----------------------|
| zufrieden       | 21 (81%)                     | 14 (88%)                  | <b>35 (83%)</b>      |
| nicht zufrieden | 5 (19%)                      | 2 (12%)                   | <b>7 (17%)</b>       |

Tab. 1: Zufriedenheit mit dem Behandlungsergebnis

| <i>Schmerzen</i> | <i>konservative Therapie</i> | <i>operative Therapie</i> | <b><i>Gesamt</i></b> |
|------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------|
| keine            | 10 (33%)                     | 7 (47%)                   | <b>17 (38%)</b>      |
| Wetterfühligkeit | 1 (3%)                       | 2 (13%)                   | <b>3 (7%)</b>        |
| gelegentlich     | 14 (47%)                     | 3 (20%)                   | <b>17 (38%)</b>      |
| regelmäßig       | 3 (10%)                      | 3 (20%)                   | <b>6 (13%)</b>       |
| starke           | 2 (7%)                       | -                         | <b>2 (4%)</b>        |
| kaum erträgliche | -                            | -                         | <b>-</b>             |

Tab. 2: Beschwerdeangaben des Patienten

| <i>Zeitraum</i> | <i>konservative Therapie</i> | <i>operative Therapie</i> | <b><i>Gesamt</i></b> |
|-----------------|------------------------------|---------------------------|----------------------|
| 4 Monate        | 7 (38%)                      | -                         | <b>7 (27%)</b>       |
| 6 Monate        | 5 (28%)                      | 3 (39%)                   | <b>8 (31%)</b>       |
| 9 Monate        | 3 (17%)                      | 1 (12%)                   | <b>4 (15%)</b>       |
| 12 Monate       | 1 (6%)                       | 1 (12%)                   | <b>2 (8%)</b>        |
| 18 Monate       | -                            | 1 (12%)                   | <b>1 (4%)</b>        |
| länger          | 2 (11%)                      | 2 (25%)                   | <b>4 (15%)</b>       |

Tab. 3: Wiederherstellung der Arbeitsfähigkeit

| <i>Beruf</i> | <i>konservative Therapie</i> | <i>operative Therapie</i> | <b><i>Gesamt</i></b> |
|--------------|------------------------------|---------------------------|----------------------|
| körperlich   | 10 (53%)                     | 8 (80%)                   | <b>18 (62%)</b>      |
| geistig      | 7 (37%)                      | 1 (10%)                   | <b>8 (28%)</b>       |
| beides       | 2 (10%)                      | 1 (10%)                   | <b>3 (10%)</b>       |

Tab. 4: Berufliche Anforderungen an den Patienten

| <i>Arbeitsplatz</i> | <i>konservative Therapie</i> | <i>operative Therapie</i> | <b><i>Gesamt</i></b> |
|---------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------|
| alter Platz         | 14 (74%)                     | 7 (70%)                   | <b>21 (72%)</b>      |
| neuer Platz         | 5 (26%)                      | 3 (30%)                   | <b>8 (28%)</b>       |

Tab. 5: Arbeitsplatzsituation des Patienten

|               | <i>konservative Therapie</i> | <i>operative Therapie</i> | <b><i>Gesamt</i></b> |
|---------------|------------------------------|---------------------------|----------------------|
| alter Beruf   | 17 (89%)                     | 9 (90%)                   | <b>26 (90%)</b>      |
| Berufswechsel | 2 (11%)                      | 1 (10%)                   | <b>3 (10%)</b>       |

Tab. 6: Berufliche Situation des Patienten

| <i>Rente</i>       | <i>konservative Therapie</i> | <i>operative Therapie</i> | <b><i>Gesamt</i></b> |
|--------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------|
| Berufsunfähigkeit  | 2 (5%)                       | 1 (5%)                    | <b>3 (5%)</b>        |
| Erwerbsunfähigkeit | -                            | 2 (11%)                   | <b>2 (3%)</b>        |

Tab. 7: Berufs- und Erwerbsunfähigkeit zum Nachuntersuchungszeitpunkt

| <i>stationär</i> | <i>konservative Therapie</i> | <i>operative Therapie</i> | <b><i>Gesamt</i></b> |
|------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------|
| bis 2 Wochen     | 13 (31%)                     | 4 (22%)                   | <b>17 (28%)</b>      |
| bis 4 Wochen     | 16 (38%)                     | 13 (72%)                  | <b>29 (49%)</b>      |
| bis 12 Wochen    | 13 (31%)                     | 1 (6%)                    | <b>14 (23%)</b>      |
| länger           | -                            | -                         | -                    |

Tab. 8: Liegedauer

| <i>Ausfall</i>    | <i>konservative Therapie</i> | <i>operative Therapie</i> | <b><i>Gesamt</i></b> |
|-------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------|
| keiner            | 36 (94%)                     | 14 (66%)                  | <b>50 (85%)</b>      |
| nicht beurteilbar | 1 (3%)                       | 1 (5%)                    | <b>2 (3%)</b>        |
| radiculär         | 1 (3%)                       | 1 (5%)                    | <b>2 (3%)</b>        |
| inkompl. QS       | -                            | 1 (5%)                    | <b>1 (2%)</b>        |
| kompl. QS         | -                            | 4 (19%)                   | <b>4 (7%)</b>        |

Tab. 9: Neurologische Ausfälle bei stationärer Aufnahme

| <i>Verlauf</i> | <i>konservative Therapie</i> | <i>operative Therapie</i> | <b><i>Gesamt</i></b> |
|----------------|------------------------------|---------------------------|----------------------|
| unverändert    | 2                            | 4                         | <b>6</b>             |
| besser         | -                            | 3                         | <b>3</b>             |
| schlechter     | -                            | -                         | -                    |

Tab. 10: Verlauf der neurologischen Störung bis zur Nachuntersuchung

| <i>Komplikation</i> | <i>operative Therapie</i> |
|---------------------|---------------------------|
| Recurrensparese     | 1 (5%)                    |
| technischer Fehler  | 2 (9%)                    |
| Infektion           | 1 (5%)                    |

Tab. 11: Komplikationen bei operativer Therapie

| <i>Therapie wegen Komplikation</i> | <i>operative Therapie</i> |
|------------------------------------|---------------------------|
| nicht erforderlich                 | 1 (5%)                    |
| einfache Revision                  | 2 (9%)                    |
| mehrfache Revisionen               | 1 (5%)                    |

Tab. 12: Therapie der Komplikationen

| <i>Parameter</i>          | <i>n</i> | <i>x<sub>m</sub></i> | <i>σ</i> | <i>σ<sub>x<sub>m</sub></sub></i> |
|---------------------------|----------|----------------------|----------|----------------------------------|
| Frakturindex A Aufnahme   | 15       | 91,4667              | 8,1      | 2,090                            |
| Frakturindex A Entlassung | 15       | 86,8000              | 14,1     | 3,632                            |

| <i>Δx<sub>m</sub></i> | <i>Δσ</i> | <i>Δσ<sub>x<sub>m</sub></sub></i> | <i>r</i> | <i>pr</i> | <i>t</i> | <i>DF</i> | <i>p0</i> |
|-----------------------|-----------|-----------------------------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 4,6667                | 10,6      | 2,734                             | 0,664    | 0,007     | 1,71     | 14        | 0,110     |

Tab. 13: Verlauf FI<sub>A</sub> von stat. Aufnahme bis Entlassung bei **konservativer** Therapie

| <i>Parameter</i>                | <i>n</i> | <i>x<sub>m</sub></i> | <i>σ</i> | <i>σ<sub>x<sub>m</sub></sub></i> |
|---------------------------------|----------|----------------------|----------|----------------------------------|
| Frakturindex A Aufnahme         | 12       | 92,3333              | 6,0      | 1,742                            |
| Frakturindex A Nachuntersuchung | 12       | 86,4167              | 12,1     | 3,493                            |

| <i>Δx<sub>m</sub></i> | <i>Δσ</i> | <i>Δσ<sub>x<sub>m</sub></sub></i> | <i>r</i> | <i>pr</i> | <i>t</i> | <i>DF</i> | <i>p0</i> |
|-----------------------|-----------|-----------------------------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 5,9167                | 9,9       | 2,870                             | 0,575    | 0,050     | 2,06     | 11        | 0,064     |

Tab. 14: Verlauf FI<sub>A</sub> von stat. Aufnahme bis Nachuntersuchung bei **konservativer** Therapie

| <i>Parameter</i>          | <i>n</i> | <i>x<sub>m</sub></i> | <i>σ</i> | <i>σ<sub>x<sub>m</sub></sub></i> |
|---------------------------|----------|----------------------|----------|----------------------------------|
| Frakturindex A Aufnahme   | 5        | 84,0000              | 3,9      | 1,732                            |
| Frakturindex A Entlassung | 5        | 98,2000              | 4,1      | 1,855                            |

| <i>Δx<sub>m</sub></i> | <i>Δσ</i> | <i>Δσ<sub>x<sub>m</sub></sub></i> | <i>r</i> | <i>pr</i> | <i>t</i> | <i>DF</i> | <i>p0</i> |
|-----------------------|-----------|-----------------------------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| -14,2000              | 7,9       | 3,513                             | -0,918   | 0,028     | -4,04    | 4         | 0,016     |

Tab. 15: Verlauf FI<sub>A</sub> von stat. Aufnahme bis Entlassung bei **operativer** Therapie

| <i>Parameter</i>                | <i>n</i> | <i>x<sub>m</sub></i> | <i>σ</i> | <i>σx<sub>m</sub></i> |
|---------------------------------|----------|----------------------|----------|-----------------------|
| Frakturindex A Aufnahme         | 3        | 83,6667              | 4,2      | 2,404                 |
| Frakturindex A Nachuntersuchung | 3        | 93,0000              | 3,5      | 2,000                 |

| <i>Δx<sub>m</sub></i> | <i>Δσ</i> | <i>Δσx<sub>m</sub></i> | <i>r</i> | <i>pr</i> | <i>t</i> | <i>DF</i> | <i>p0</i> |
|-----------------------|-----------|------------------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| -9,3333               | 7,0       | 4,055                  | -0,693   | 0,512     | -2,30    | 2         | 0,148     |

Tab. 16: Verlauf FI<sub>A</sub> von stat. Aufnahme bis Nachuntersuchung bei **operativer** Therapie

| <i>Parameter</i>          | <i>n</i> | <i>x<sub>m</sub></i> | <i>σ</i> | <i>σx<sub>m</sub></i> |
|---------------------------|----------|----------------------|----------|-----------------------|
| Frakturindex B Aufnahme   | 15       | 91,5333              | 8,3      | 2,147                 |
| Frakturindex B Entlassung | 15       | 86,9333              | 12,9     | 3,343                 |

| <i>Δx<sub>m</sub></i> | <i>Δσ</i> | <i>Δσx<sub>m</sub></i> | <i>r</i> | <i>pr</i> | <i>t</i> | <i>DF</i> | <i>p0</i> |
|-----------------------|-----------|------------------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 4,6000                | 10,1      | 2,602                  | 0,628    | 0,012     | 1,77     | 14        | 0,099     |

Tab. 17: Verlauf FI<sub>B</sub> von stat. Aufnahme bis Entlassung bei **konservativer** Therapie

| <i>Parameter</i>                | <i>n</i> | <i>x<sub>m</sub></i> | <i>σ</i> | <i>σx<sub>m</sub></i> |
|---------------------------------|----------|----------------------|----------|-----------------------|
| Frakturindex B Aufnahme         | 12       | 92,2500              | 7,0      | 2,023                 |
| Frakturindex B Nachuntersuchung | 12       | 86,3333              | 12,2     | 3,526                 |

| <i>Δx<sub>m</sub></i> | <i>Δσ</i> | <i>Δσx<sub>m</sub></i> | <i>r</i> | <i>pr</i> | <i>t</i> | <i>DF</i> | <i>p0</i> |
|-----------------------|-----------|------------------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 5,9167                | 10,4      | 3,016                  | 0,520    | 0,083     | 1,96     | 11        | 0,076     |

Tab. 18: Verlauf FI<sub>B</sub> von stat. Aufnahme bis Nachuntersuchung bei **konservativer** Therapie

| <i>Parameter</i>          | <i>n</i> | <i>x<sub>m</sub></i> | <i>σ</i> | <i>σ<sub>x<sub>m</sub></sub></i> |
|---------------------------|----------|----------------------|----------|----------------------------------|
| Frakturindex B Aufnahme   | 5        | 82,4000              | 5,0      | 2,227                            |
| Frakturindex B Entlassung | 5        | 97,4000              | 2,1      | 0,927                            |

| <i>Δx<sub>m</sub></i> | <i>Δσ</i> | <i>Δσ<sub>x<sub>m</sub></sub></i> | <i>r</i> | <i>pr</i> | <i>t</i> | <i>DF</i> | <i>p0</i> |
|-----------------------|-----------|-----------------------------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| -15,0000              | 7,0       | 3,130                             | -0,964   | 0,008     | -4,79    | 4         | 0,009     |

Tab. 19: Verlauf FI<sub>B</sub> von stat. Aufnahme bis Entlassung bei **operativer** Therapie

| <i>Parameter</i>                | <i>n</i> | <i>x<sub>m</sub></i> | <i>σ</i> | <i>σ<sub>x<sub>m</sub></sub></i> |
|---------------------------------|----------|----------------------|----------|----------------------------------|
| Frakturindex B Aufnahme         | 3        | 82,6667              | 4,9      | 2,848                            |
| Frakturindex B Nachuntersuchung | 3        | 90,0000              | 2,6      | 1,528                            |

| <i>Δx<sub>m</sub></i> | <i>Δσ</i> | <i>Δσ<sub>x<sub>m</sub></sub></i> | <i>r</i> | <i>pr</i> | <i>t</i> | <i>DF</i> | <i>p0</i> |
|-----------------------|-----------|-----------------------------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| -7,3333               | 6,5       | 3,756                             | -0,421   | 0,723     | -1,95    | 2         | 0,190     |

Tab. 20: Verlauf FI<sub>B</sub> von stat. Aufnahme bis Nachuntersuchung bei **operativer** Therapie

### **7.3. Danksagung**

Ich danke meinem Doktorvater, Herrn Priv.-Doz. Dr. med. habil. H.-J. EGBERS für die Überlassung des Themas.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. med. LUTZ BESCH für seinen fachlichen, wissenschaftlichen und persönlichen Beistand bei der Durchführung dieser Studie. Ich danke Herrn Dr. med. J. GRÜBER (Institut für Neuroanatomie, Universitätsklinik Hamburg-Eppendorf) für seine wertvolle Hilfe bei der rechnergestützten Datenauswertung.

Herrn Dr. med. FRANK SCHUBERT danke ich für seine Hilfe bei der Auswertung der MRT-Bilder.

#### **7.4. Lebenslauf**

Ich, Martin Sprengel, wurde am 11. August 1967 als Sohn des heutigen Abteilungspräsidenten Jürgen Sprengel und der Apothekerin Renate Sprengel, geb. Plötz, in Kiel geboren.

Seit 1977 besuchte ich das neusprachlich-naturwissenschaftliche Gymnasium in Altenholz-Stift und legte dort 1986 das Abitur ab.

Nach meiner Wehrdienstzeit (1986 bis 1987) immatrikulierte ich mich zum Wintersemester 1987/88 an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel für das Studium der Humanmedizin. Im dritten vorklinischen Semester wurde ich auf Vorschlag von Herrn Prof. Dr. B. Tillmann (Direktor des Anatomischen Instituts der CAU Kiel) als Stipendiat in die Studienstiftung des deutschen Volkes aufgenommen. Im Sommer 1989 legte ich die Ärztliche Vorprüfung ab.

Am 14.9.1990 heiratete ich die Sozialversicherungsfachangestellte Birte Sprengel, geb. Hamann. Im September 1993 wurden unsere Kinder Anika, Eyke und Thore geboren.

Im Januar 1991 begann ich meine Arbeit in der Klinik für Unfallchirurgie im Klinikum der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (Direktor: Prof. Dr. med. D. HAVEMANN). Die Erhebung der Daten für diese Studie war im April 1992 abgeschlossen.

Mit dem dritten Teil der Ärztlichen Prüfung schloß ich im Mai 1994 mein Studium der Humanmedizin ab.

Vom 1.8.1994 bis zum 31.1.1996 war ich als Arzt im Praktikum in der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie im Klinikum der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (Direktor: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. F. HÄRLE) angestellt. In dieser Klinik bin ich seit dem Erwerb meiner ärztlichen Approbation am 1.2.1996 als Assistenzarzt angestellt. Seit dem Wintersemester 1994/95 bin ich für das zusätzliche Studium der Zahnmedizin, das Teil der angestrebten Ausbildung zum Arzt für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie ist, an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel eingeschrieben.