

Aus der Klinik für Orthopädie der Medizinischen
Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität
Magdeburg

**Der klinische und radiologische Langzeitverlauf
nach dorsaler Stabilisierung bei traumatischer
Wirbelkörperfraktur**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

Dr. med.

(doctor medicinae)

an der Medizinischen Fakultät
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

vorgelegt von	Anika Strupeit-Döbbelin
aus	Haldensleben
Magdeburg	2015

Dokumentationsblatt

Bibliographische Beschreibung

Strupeit-Döbbelin, Anika:

Der klinische und radiologische Langzeitverlauf nach dorsaler Stabilisierung bei traumatischer Wirbelkörperfraktur

Magdeburg 2015 - 77 Bl: 12 Abb., 14 Tab., 2 Anl.

Kurzreferat:

Instabile Wirbelkörperfrakturen werden überwiegend operativ versorgt. Die offene dorsale Stabilisierung stellt dabei die Primärtherapie, als ein einfaches Verfahren zur Frakturreposition und Stabilisation mit geringer Komplikationsrate dar. Vielfach zeigt sich allerdings im postoperativen Verlauf bei rein dorsaler Stabilisierung ein deutlicher Korrekturverlust des Repositionsergebnisses. Häufig wird daher ein dorsoventrales Vorgehen favorisiert, um den Korrekturgewinn länger zu erhalten. Studien mit mittelfristigen Nachuntersuchungszeiträumen zeigten allerdings meist keinen Zusammenhang zwischen radiologischen Ergebnissen und klinischem Outcome. Langzeitergebnisse der verschiedenen Behandlungsmethoden liegen noch nicht umfassend vor.

Die Analyse von 24 Patienten nach rein dorsaler Stabilisierung bei traumatischer Wirbelkörperfraktur zeigte den Langzeitverlauf der radiologischen Parameter (Körperwinkel, mono- bzw. bisegmentaler Grund-Deckplatten-Winkel und Beck-Index) und des klinischen Outcomes gemessen am Hannover-Wirbelsäulen-Score. Es konnten Ergebnisse zum prä- und postoperativen Zeitpunkt sowie zu zwei Nachuntersuchungen über einen Verlauf von durchschnittlich mehr als 10 Jahren ermittelt werden. Diese bestätigten den sekundären Korrekturverlust nach rein dorsaler Stabilisierung. Entgegen den radiologischen Ergebnissen verbesserte sich jedoch der klinische Befund über die Nachuntersuchungszeitpunkte signifikant ($p < 0,05$) und entwickelte sich je nach Geschlecht unterschiedlich. Der Score der Frauen stieg, im Gegensatz zu dem der Männer, signifikant an, wobei Männer grundsätzlich höhere Scorewerte aufwiesen.

Schlüsselwörter: Wirbelkörperfraktur, dorsale Stabilisierung, Korrekturverlust, Langzeitverlauf

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	III
---------------------------	------------

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VI
------------------------------	-----------

1 EINFÜHRUNG	1
---------------------	----------

1.1 Anatomie und Biomechanik der Wirbelsäule	1
--	---

1.2 Epidemiologie und Folgen der Wirbelkörperfrakturen	2
--	---

1.3 Diagnostik und therapeutische Optionen nach Wirbelkörperfraktur	3
---	---

1.4 Ziel der Arbeit	4
---------------------	---

2 MATERIAL UND METHODEN	5
--------------------------------	----------

2.1 Patientenkollektiv	5
------------------------	---

2.2 Datenerhebung	6
-------------------	---

2.3 Allgemeine Parameter	7
--------------------------	---

2.3.1 Operationsspezifische Parameter	7
---------------------------------------	---

2.3.2 Unfallursache	8
---------------------	---

2.3.3 Frakturlokalisierung	9
----------------------------	---

2.3.4 Frakturmerkmale	9
-----------------------	---

2.4 Klinische Parameter	9
-------------------------	---

2.4.1 Neurologischer Befund	10
-----------------------------	----

2.4.2 Nachuntersuchungsscore	10
------------------------------	----

2.5 Röntgenologische Parameter	11
--------------------------------	----

2.5.1 Körperwinkel (Alpha-Winkel)	12
-----------------------------------	----

2.5.2 Grund-Deckplatten-Winkel monosegmental (Beta-Winkel)	12
--	----

2.5.3 Grund-Deckplatten-Winkel bisegmental (Gamma-Winkel)	13
---	----

2.5.4 Beck-Index	13
------------------	----

2.6 Interobserver-Reliabilität	13
--------------------------------	----

2.7 Statistik	14
---------------	----

Inhaltsverzeichnis	IV
3 ERGEBNISSE	16
3.1 Interobserver-Reliabilität	16
3.2 Allgemeine Parameter	20
3.2.1 Patientenkollektiv	20
3.2.2 Alters- und Geschlechtsverteilung	21
3.2.3 Unfallursache	21
3.2.4 Frakturlokalisation	21
3.2.5 Frakturmerkmale	22
3.2.6 Operationszeitpunkt	23
3.2.7 Verwendetes System	23
3.2.8 Postoperative Komplikationen	24
3.2.9 Materialentfernung	24
3.2.10 Nachuntersuchungszeitpunkt	24
3.3 Klinische Parameter	24
3.3.1 Neurologischer Befund	24
3.3.2 Funktionsparameter	25
3.3.3 Narbenlänge	25
3.3.4 Berufsstatus	26
3.3.5 Nachuntersuchungsscore	26
3.4 Radiologische Parameter	28
4 DISKUSSION	35
4.1 Methodik und Limitationen	37
4.2 Epidemiologie	39
4.3 Klinische Ergebnisse und sozioökonomische Bedeutung	41
4.3.1 Neurologischer Befund	41
4.3.2 Funktionsparameter	42
4.3.3 Nachuntersuchungsscore	43
4.3.4 Berufsstatus	45
4.4 Radiologische Ergebnisse	46
4.4.1 Wirbelkörperwinkel und Beck-Index	46
4.4.2 Mono- und bisegmentaler Grund-Deckplatten-Winkel	48
4.4.3 Die Rolle der Bandscheibe	50
4.5 Zusammenhang Radiologie und Nachuntersuchungsscore	52

Inhaltsverzeichnis	V
4.6 Einfluss des Geschlechts auf die klinischen und radiologischen Ergebnisse	53
4.7 Schlussfolgerungen	55
5 ZUSAMMENFASSUNG	56
6 LITERATURVERZEICHNIS	57
DANKSAGUNG	63
ERKLÄRUNG	64
LEBENS LAUF	65
ANLAGEN	66
Anlage 1: Anschreiben	66
Anlage 2: Fragebogen	67

Abkürzungsverzeichnis

AO	Arbeitsgemeinschaft Osteosynthesefragen
ASIA	American Spinal Injury Association
CT	Computertomografie
EMG	Elektromyografie
FFA	Fußboden-Finger-Abstand
GDW	Grund-Deckplatten-Winkel
ICC	Intra-Class-Correlation
LSD-Post-hoc-Test	Least Significant Difference Post-hoc-Test
MCS	Multicenterstudie
ME	Materialentfernung
NU	Nachuntersuchung
OP	Operation
SF	Short Form
VAS	Visual Analogue Scale
VKU	Verkehrsunfall

1 Einführung

1.1 Anatomie und Biomechanik der Wirbelsäule

Die Wirbelsäule des Menschen ist Stütz- und Bewegungsorgan zugleich und dient als Schutz für Rückenmark und Nervenwurzeln [29]. Es handelt sich dabei um eine vielgliedrige „Knochengelenkkette“ die passiv durch Bänder und aktiv durch Muskeln stabilisiert und bewegt wird [54]. Zu den wesentlichen Elementen zählen die Wirbelkörper, die Bandscheiben, die Dornfortsätze, die Facettengelenke und die ligamentären sowie muskulären Strukturen [3]. Jeder Wirbelkörper ist aus spongiösem Knochen aufgebaut. Die äußere Begrenzung wird von einer Kortikalis von 0,2 - 0,4 mm Dicke gebildet [80]. Die Grund- und Deckenplatten, als subchondrale Knochenplatten mit hyalinem Knorpelüberzug, stellen die Begrenzung zum Zwischenwirbelraum dar. Hier befindet sich neben verschiedenen Bandstrukturen, die die Wirbelkörper miteinander verbinden und die Zwischenwirbelscheiben festigen, die Bandscheibe. Sie ist aus einem äußeren Faserring, dem Anulus fibrosus und einem inneren Gallertkern, dem Nucleus pulposus, aufgebaut. Die Bandscheibe hat eine Stützfunktion und leitet die Lasten der Wirbelkörper gleichmäßig druckverteilt weiter. Zwei benachbarte Wirbel bilden gemeinsam mit der dazwischen liegenden Bandscheibe und den entsprechenden Bändern eine funktionelle Einheit und werden als Bewegungssegment bezeichnet [3].

Holdsworth legte 1963 [40] mit seinen Analysen Grundlagen für das biomechanische Verständnis der Wirbelsäule. Dabei stellte der Wirbelkörper als tragendes Element die ventrale Säule dar. Die hintere Säule wurde aus dem dorsalen Ligamentkomplex gebildet. 1977 entwickelte Whitesides das "Zweisäulenmodell" weiter und verdeutlichte darüber das Wirken von Druckbeanspruchung (ventrale Säule) und Zuggurtung (dorsale Säule) an der Wirbelsäule [89].

Denis definierte 1983 ein "Dreisäulenmodell" [27], bestehend aus der vorderen Säule mit den anterioren longitudinalen Bändern und der ventralen Hälfte des Wirbelkörpers, der mittleren Säule, gebildet aus der dorsalen Hälfte des Wirbelkörpers und den posterioren Längsbändern sowie der posterioren Säule mit den Facettengelenken, Dornfortsätzen und dem dorsalen Bandkomplex.

Zur Einteilung von Wirbelsäulenverletzungen ist heute im europäischen Raum die AO-Klassifikation, die der Magerl-Klassifikation [61] auf Grundlage des Drei-Säulen-

Konzepts von Denis folgt, gebräuchlich [26]. Sie basiert auf pathogenetischen und prognostischen Kriterien und unterteilt in Kompressions- (A), Distraktions- (B), und Rotationsverletzungen (C) [29]. Anhand dieser Fraktуреinteilung und der Verwendung von Subgruppen lässt sich der Schweregrad der Verletzung ableiten.

1.2 Epidemiologie und Folgen der Wirbelkörperfrakturen

Die Inzidenz von relevanten Wirbelsäulenverletzungen mit Rückenmarksbeteiligung wird in Deutschland auf 8000 - 10000 pro Jahr geschätzt. Die Zahl der Patienten mit leichteren Wirbelsäulentraumen ohne neurologische Defizite liegt um ein Vielfaches höher [32]. Relevante Wirbelsäulenverletzungen haben in den letzten zwanzig Jahren im Zuge eines "Aktivitätswandels" der Gesellschaft deutlich zugenommen [62]. Außerdem wird auch der demographische Wandel der Gesellschaftsstruktur mit einer deutlichen Steigerung der Zahl der älteren Patienten mit hohen Prävalenzen für osteoporotische Knochenveränderungen weiter zu einem Anstieg von Wirbelsäulenverletzungen führen [67].

Die Verteilung von Geschlecht und Alter zum Unfallzeitpunkt zeigt einen deutlichen Altersgipfel zwischen dem 20. und 40. Lebensjahr und ein Überwiegen des männlichen Geschlechts [42]. Parallel war in den letzten Jahren eine Häufung von Wirbelsäulenverletzungen im fortgeschrittenen Alter durch banale Traumen festzustellen [42, 62, 70]. Die Ätiologie der Verletzungen ist in absteigender Häufigkeit durch "Stürze aus der Höhe", "Verkehrsunfälle" und "banale Stürze" auf ebener Erde bestimmt [32, 70]. In circa $\frac{2}{3}$ der Fälle ist die Fraktur im thorakolumbalen Übergang lokalisiert [70].

Verletzungen der Wirbelsäule zählen zu den finanziell aufwändigsten Bereichen der Traumatologie. Nicht zuletzt durch vorhandene oder potentielle neurologische Schädigungen wird die Lebensqualität der Patienten maßgeblich bestimmt [20]. Die Wiederherstellung der Mobilität und Funktionalität ist daher entscheidend für das Outcome der Patienten und die Reintegration in Beruf und soziales Leben.

1.3 Diagnostik und therapeutische Optionen nach Wirbelkörperfraktur

Eine wichtige Grundlage für die Diagnostik von Wirbelsäulenverletzungen ist die Anamnese, um entscheidende Hinweise zum Unfallgeschehen und zur Verletzungsart zu erhalten. Im Rahmen der klinischen Untersuchung sollte der exakten neurologischen Befunderhebung eine besondere Bedeutung beigemessen werden. Zur Einschätzung hat sich die Klassifikation nach Frankel [33] durchgesetzt. Bei der radiologischen Diagnostik dient die konventionelle Röntgenaufnahme der gesamten Wirbelsäule in zwei Ebenen als Basisdiagnostik, neben der Computertomografie mit einer höheren diagnostischen Genauigkeit [58]. Mit diesen Verfahren lassen sich die meisten Verletzungen erkennen und klassifizieren. Ergänzend wird zur Einschätzung der Rückenmarks-, Bandscheiben-, Ligament- und Weichteilschädigungen zunehmend die Magnetresonanztomografie verwendet [32].

Eine konservative Behandlung von Wirbelkörperfrakturen wird bei stabilen Frakturen ohne neurologisches Defizit mit maximalen Fehlstellungen von 20° Achsabweichungen und geringer Sinterung des Wirbelkörpers um maximal ein Drittel der Höhe empfohlen [58]. Grundlage des Therapiekonzepts ist die Annahme, dass sich die Trabekel des Wirbelkörpers aneinander schieben, so dass sich der spongiöse Knochen verdichtet und in seiner Deformität wieder fast seine ursprüngliche Stabilität erreicht [7]. Ermöglicht durch eine suffiziente Analgesie erfolgt eine frühe Mobilisation mit Hilfe physiotherapeutischer Unterstützung. In Ausnahmefällen wird die frühkonventionelle Therapie durch eine Anwendung von Korsetts oder Orthesen unterstützt [42, 64].

Instabile Wirbelkörperfrakturen werden operativ versorgt [32, 51, 74]. Weitere Operationsindikationen sind das Vorhandensein von neurologischen Defiziten, Fehlstellungen des Wirbelkörpers von mehr als 20°, Sinterungen von mehr als einem Drittel Wirbelhöhe und das Auftreten von Begleitverletzungen zum Beispiel im Rahmen eines Polytraumas bzw. von therapierefraktären Schmerzen unter konservativer Behandlung [32].

Grundsätzlich stehen neben der rein dorsalen Stabilisierung auch Operationsverfahren mit ventralem Zugang und Kombinationen aus diesen Operationsarten zur Verfügung. Offene Techniken werden zunehmend von minimal-invasiven Instrumentierungen ersetzt [58, 68].

Die offene dorsale Stabilisierung stellt allerdings die Primärtherapie [4, 58], als ein einfaches Verfahren zur Frakturpositionierung und Stabilisation mit geringer Komplikationsrate dar. Sie ermöglicht "insbesondere durch die langen Hebelarme die

exzellente Reposition im Sinne der Lordosierung, wie auch die gegebenenfalls notwendige Wiederherstellung der Höhe durch die entsprechende Distraction" [58]. Mehrere Veröffentlichungen zeigen im postoperativen Verlauf bei rein dorsaler Stabilisierung einen deutlichen Korrekturverlust der betroffenen Wirbelsäulenregion [15, 30, 50, 72, 87]. Häufig wird daher ein dorsoventrales Vorgehen favorisiert, um den Frakturbereich auch ventral zu stabilisieren und somit den Korrekturgewinn länger zu erhalten [8]. Allerdings zeigen Studien mit mittelfristigen Nachuntersuchungszeiträumen meist keinen Zusammenhang zwischen radiologischen Ergebnissen und klinischem Outcome [2, 15, 18, 49]. Inwieweit diese Korrelation im Langzeitverlauf besteht, ist bisher noch offen, da sich die Nachuntersuchungen zu den Operationsverfahren in der Regel auf kurz- bis mittelfristige Zeiträume (2-5 Jahre) beschränken und nur wenige Langzeitstudien mit Nachuntersuchungszeiträumen mit bis zu 7 Jahren existieren [2, 8, 14, 83].

Ein weiterer Aspekt zur Beurteilung der Therapiegüte ist das Nutzen-Risiko-Verhältnis für den Patienten. Vor- und Nachteile der verschiedenen Zugangswege werden diesbezüglich und in Hinblick auf die Ökonomie der Behandlung diskutiert. Eine abschließende Beurteilung ist bis jetzt nicht erfolgt, da Langzeitergebnisse nur unzureichend vorliegen.

1.4 Ziel der Arbeit

Die vorliegende Arbeit soll den Langzeitverlauf der radiologischen Parameter (Wirbelkörperwinkel, Beck-Index und mono- bzw. bisegmentaler Grund-Deckplatten-Winkel) nach dorsaler Stabilisierung bei Wirbelkörperfrakturen und das klinische Outcome der Patienten gemessen am Hannover-Wirbelsäulen-Score betrachten. Zusätzlich soll der Einfluss des Geschlechts geprüft werden.

Folgende Hypothesen sollen untersucht werden:

Hypothese 1: Der klinische Nachuntersuchungsscore verschlechtert sich im Verlauf von der ersten zur zweiten Nachuntersuchung.

Hypothese 2: Die radiologischen Parameter des Wirbelkörpers (Alpha-Winkel und Beck-Index) und die Grund-Deckplatten-Winkel verbessern sich durch die Operation und verändern sich im Verlauf der Nachuntersuchungen nicht mehr signifikant.

2 Material und Methoden

2.1 Patientenkollektiv

Grundlage dieser retrospektiven Studie waren Patienten, die im Zeitraum von 1991 bis 2001 nach traumatischer Wirbelkörperfraktur eine dorsale Stabilisierung in der Klinik für Orthopädie der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg erhalten hatten.

Zum Einschluss in die Analyse wurden für die Patienten mit Zustand nach Wirbelkörperfraktur folgende Bedingungen definiert:

- Patienten mit instabilen traumatischen Wirbelkörperfrakturen ohne bekannte osteoporotische Vorerkrankung
- Operationsdurchführung in der Klinik für Orthopädie der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Stabilisierung der instabilen Wirbelkörperfraktur rein von dorsal
- Verfügbarkeit von Nachuntersuchungsergebnissen zu zwei Zeitpunkten
- Zeitraum zwischen Operation und zweiter Nachuntersuchung mindestens 84 Monate

Ausgeschlossen wurden Patienten, die im Rahmen der Operation eine Spongiosaplastik erhalten hatten.

In der ersten Nachuntersuchungsperiode von 1993 bis 2001 wurden von Mahlfeld die Daten der Patienten und klinische und radiologische Nachuntersuchungsergebnisse (siehe Abschnitt 2.4 und 2.5) dokumentiert.

Nach einer ausführlichen Datenerhebung (siehe Abschnitt 2.2) im Jahr 2007 durch Strupeit-Döbbelin erfolgte die zweite Nachuntersuchung (NU) im Rahmen der Dissertationsarbeit von Strupeit-Döbbelin im Zeitraum von 2007 bis 2008. Zur Darstellung der klinischen und radiologischen Langzeitverläufe wurden zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt die gleichen Parameter wie zur ersten Untersuchung erhoben.

Die röntgenologische Auswertung erfolgte anhand mitgebrachter und archivierter Röntgenbilder vom Unfallzeitpunkt, postoperativen Röntgenbildern (2 Wochen nach Operation) und an im Rahmen der Nachuntersuchungen angefertigten, im Chili®/Web gespeicherten Röntgenbildern. Auch prä- und postoperative Fremdaufnahmen wurden mit einbezogen.

Ein Votum der Ethikkommission wurde nicht eingeholt, da die Erhebung der klinischen und radiologischen Daten im Rahmen der üblichen Nachuntersuchungen erfolgte.

Zur Darstellung der Langzeitergebnisse wurden von allen Patienten nur die Patienten in die endgültige statistische Auswertung einbezogen, von denen zu allen Zeitpunkten (präoperativ, postoperativ, erste und auch zweite Nachuntersuchungsperiode) vollständige radiologische Befunde und zu beiden Nachuntersuchungszeitpunkten ein beantworteter Fragebogen zum klinischen Outcome vorlagen.

2.2 Datenerhebung

Die vorliegende Arbeit basiert auf einer klinisch-statistischen Analyse von Krankheitsverläufen. Es wurden sowohl Befunde klinischer als auch radiologischer Untersuchungen berücksichtigt.

Die Patientendaten, Anamnese, Befunde und Röntgenbilder wurden aus den Verlegungsberichten auswärtiger Krankenhäuser und den Aufnahme- und Verlaufsbefunden bzw. Operationsberichten oder Entlassungsbriefen des stationären Aufenthalts entnommen, sowie im Rahmen der Nachuntersuchung erhoben (siehe Abschnitt 2.3 Allgemeine Parameter). Die dazu benötigten Krankenblätter konnten aus dem Klinikarchiv bezogen und im Anschluss ausgewertet werden.

Weiterhin fand eine klinische Untersuchung statt. In dieser wurde das Hauptaugenmerk auf die Untersuchung der Wirbelsäule durch Inspektion des Rückens und der Narbenverhältnisse, Palpation der anatomischen Landmarken und Beurteilung des Bewegungsausmaßes gelegt (siehe Abschnitt 2.4 Klinische Parameter). Neben der Messung der Narbenlänge in Zentimeter wurden im Rahmen der Nachuntersuchung auch Daten zum Zeitpunkt der Materialentfernung und zu eventuellen frakturbedingten beruflischen Veränderungen erhoben.

Die Einladung der in die Studie eingeschlossenen Patienten erfolgte postalisch (siehe Anlage 1: Anschreiben) und in Einzelfällen telefonisch.

Zur Evaluierung des Behandlungserfolgs wurde ein Nachuntersuchungsscore mit Hilfe eines Patientenfragebogens (siehe Anlage 2: Fragebogen) erhoben.

Der Fragebogen zur Beurteilung des klinischen Ergebnisses wurde den Patienten erläutert und von ihnen beantwortet (siehe Abschnitt 2.4.2 Nachuntersuchungsscore).

Abschließend erfolgte zur radiologischen Verlaufskontrolle eine Röntgenaufnahme des Wirbelsäulenabschnittes in zwei Ebenen.

2.3 Allgemeine Parameter

Im Rahmen der Krankenblattauswertung wurden neben den Parametern Alter und Geschlecht der Patienten auch operationsspezifische Parameter wie der Operationszeitpunkt, das intraoperativ verwendete System, operative Besonderheiten bzw. postoperative Komplikationen und der Zeitpunkt der Materialentfernung erfasst.

Sowohl die Unfallursache, die Frakturlokalisierung als auch die Frakturmerkmale (Wolter-Klassifikation, siehe Abschnitt: 2.3.4 Frakturmerkmale) der traumatischen Wirbelkörperfraktur wurden klassifiziert.

2.3.1 Operationsspezifische Parameter

Indikation zur dorsalen Stabilisierung

Die Indikation zur Spondylodese wurde durch den Operateur in Abhängigkeit vom neurologischen Befund und der im Computertomogramm sichtbaren Bedrängung des Spinalkanals bzw. der Beteiligung der Hinterkante des frakturierten Wirbelkörpers gestellt.

Operationszeitpunkt

Die Zeit zwischen Unfallgeschehen und operativer Versorgung der Wirbelkörperfraktur war stark abhängig von der primär behandelnden Klinik.

Die Einteilung des Operationszeitpunktes erfolgte von Mahlfeld im Rahmen der ersten Nachuntersuchung in drei Gruppen:

- | | |
|----------|--|
| Gruppe 1 | OP 1 - 6 Tage nach Unfallgeschehen |
| Gruppe 2 | OP 7 - 14 Tage nach Unfallgeschehen |
| Gruppe 3 | OP mehr als 14 Tage nach Unfallgeschehen |

Operation

Alle Patienten wurden durch eine dorsale Stabilisierung mittels Schrauben-Stab-System versorgt. Die Operation fand immer von rein dorsal statt. Nach Korrektur der

traumatisch verursachten Winkelverhältnisse nach dem Prinzip der Ligamentotaxis erfolgte die Stabilisierung der Korrekturstellung über einen Fixateur interne (verwendete Systeme siehe Tabelle 8).

Perioperatives Management

Die Patienten hatten bis zur Operation Bettruhe. Die Lagerung wurde stets achsengerecht durchgeführt. Vor OP-Beginn erfolgte eine intravenöse Antibiose zur Infektionsprophylaxe. Die dorsale Stabilisierung fand in Allgemeinanästhesie mit kontinuierlichem Monitoring der Vitalparameter statt. Nach Etablierung von zwei großlumigen Zugängen erfolgte die Lagerung der Patienten zur Operation in Bauchlage mittels Lagerungskissen. In der Regel konnten die Patienten zur postoperativen Überwachung auf die Orthopädische Wachstation verlegt werden. Die Schmerztherapie orientierte sich individuell am Bedarf des Patienten. Ab dem ersten postoperativen Tag erfolgte die Mobilisierung unter physiotherapeutischer Anleitung ohne Drei-Punkt-Stütz-Korsett.

2.3.2 Unfallursache

Die Arbeitsgemeinschaft Wirbelsäule der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie klassifizierte die Unfallursachen im Rahmen der MCS II in die Kategorien „Banaler Sturz“, „Sturz aus der Höhe“, „Sprung“, „Von Gegenstand getroffen“, „Verkehrsunfall“ und „Sonstige“ [70].

In Anlehnung an diese Einteilung erfolgte zur besseren Vergleichbarkeit folgende Kategorisierung des Patientenkollektivs:

Die Kategorie „Sturz/Höhe“ beinhaltet alle Stürze oder Sprünge aus einer Höhe über 2 m.

Die Kategorie „Banaler Sturz“ schließt Unfälle ein, die durch Ausrutschen oder Fallen auf einer Ebene, zum Beispiel Sturz in der Badewanne oder beim Spaziergang, verursacht wurden.

Die Kategorien „PKW“ und „Motorrad“ beinhalten die Rasanztraumata.

In der Kategorie „Gewicht/Höhe“ wurden Patienten subsummiert, die nicht nur aus einer Höhe gestürzt sondern zusätzlich durch ein Gewicht, zum Beispiel herunterfallende Dachteile, einer direkten Krafteinwirkung im Bereich der Wirbelsäule ausgesetzt waren.

2.3.3 Frakturlokalisierung

Die Lokalisationen der Wirbelkörperfrakturen wurden in Anlehnung an Reinhold et al. [70] in drei Gruppen unterteilt:

Thorakales Wirbelsäulensegment: Frakturen Th1 - Th10

Thorakolumbalen Übergang: Frakturen Th11 - L2

Lumbales Wirbelsäulensegment: Frakturen L3 - L5

2.3.4 Frakturmerkmale

Die Indikation zur Operation wurde anhand der präoperativen Röntgenbilder und der CT-Aufnahmen gestellt.

Die Einteilung der posttraumatischen Spinalkanaleinengung erfolgte nach computertomographischer Auswertung gemäß der Wolter-Klassifikation [91], die in der Tabelle 1 dargestellt ist.

Tabelle 1: Klassifizierung der Einengung des Spinalkanals nach Wolter [91]

Wolter-Klassifikation	Einengung des Spinalkanals
0	Keine Einengung
1	Einengung bis zu $\frac{1}{3}$
2	Einengung bis zu $\frac{2}{3}$
3	Einengung mehr als $\frac{2}{3}$ bis zu völliger Einengung

2.4 Klinische Parameter

Im Rahmen der zwei Nachuntersuchungen erfolgte eine körperliche Untersuchung der Patienten mit dem Fokus auf Funktionalität und Anatomie der Wirbelsäule.

Erfasst wurden Sensibilitätsstörungen der unteren Extremitäten, motorische Einschränkungen des Bewegungsapparates und der Lasègue-Test als Parameter für das neurologische Defizit. Weiterhin wurde die Narbenlänge in Zentimeter als ein indirektes Maß für die operative Muskeltraumatisierung dokumentiert.

Das Bewegungsausmaß der Wirbelsäule wurde anhand des Schober-Maßes, des Fußboden-Finger-Abstands (FFA) in Zentimeter und der Seitneigung in Grad (°) ermittelt.

2.4.1 Neurologischer Befund

Zur Beschreibung des klinisch-neurologischen Befundes wurde die aus der Frankel-Einteilung [33] abgeleitete Frankel-/ASIA-Klassifikation [70] (siehe Tabelle 2) herangezogen.

Tabelle 2: Frankel-/ASIA-Klassifikation in der deutschen Fassung aus Reinhold et al. [70]

A	Komplett: Keine sensible oder motorische Funktion ist in den sakralen Segmenten S4 bis S5 erhalten
B	Inkomplett: Sensible, aber keine motorische Funktion ist unterhalb des neurologischen Niveaus erhalten und dehnt sich bis in die Sakralsegmente S4/S5 aus
C	Inkomplett: Motorische Funktion ist unterhalb des neurologischen Niveaus erhalten, und die Mehrzahl der Kennmuskeln unterhalb des neurologischen Niveaus hat einen Muskelkraftgrad von < 3
D	Inkomplett: Motorische Funktion ist unterhalb des neurologischen Niveaus erhalten, und die Mehrheit der Kennmuskeln unterhalb des neurologischen Niveaus hat einen Muskelkraftgrad von ≥ 3
E	Normal: Sensible und motorische Funktionen sind normal

Es erfolgte eine Untersuchung auf Störungen der Motorik und Sensibilität. Die neurologischen Defizite nach Wirbelsäulenverletzung wurden hinsichtlich des Ausprägungsgrades anhand der Schadensskala klassifiziert.

2.4.2 Nachuntersuchungsscore

Zur einheitlichen Evaluierung der Behandlungsergebnisse, der Wirbelsäulenfunktion, des aktuellen Beschwerdebildes und des Berufsstatus wurden im Rahmen des ersten Nachuntersuchungszyklus der Hannover-Wirbelsäulen-Score [9] und eine durch Mahlfeld abgewandelte Arbeitsfähigkeitsskala (im Original nach Denis [28]) verwendet. Auch im Zuge des zweiten Nachuntersuchungszyklus wurden diese Fragebögen zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse wieder herangezogen. Von jedem Patienten wurde zu jedem Nachuntersuchungszeitpunkt der Berufsstatus erhoben und der Fragebogen zum klinischen Outcome beantwortet, woraus ein Scorewert ermittelt wurde.

Der Hannover-Wirbelsäulen-Score [9] ist ein Fragebogen, der sowohl die Beschwerden, die Mobilität und die Einschränkungen von gehfähigen als auch rollstuhlpflichtigen Patienten erfasst. Er beruht auf subjektiven Angaben des Patienten. 11 Kategorien werden anhand einer Adjektivskala berücksichtigt. Durch Addition der Punkte der einzelnen Kategorien können bei Beschwerdefreiheit maximal 100 Punkte erreicht werden. Die Kategorien sind jeweils in sechs bis drei Abstufungen bewertet (siehe Anlage 2: Fragebogen).

Zur Beurteilung der Einschränkungen im beruflichen Alltag wurde, wie oben erwähnt, die Arbeitsfähigkeitsskala nach Denis [28] modifiziert. Anhand einer Binärskala wurde der berufliche Status erhoben. Zur genauen Betrachtung der Arbeitsunfähigkeit fanden die Antwortmöglichkeiten „Berentung“, „weiterbestehende Krankschreibung“ und „Arbeitslosigkeit“ Berücksichtigung im Fragebogen (siehe Anlage 2: Fragebogen).

2.5 Röntgenologische Parameter

Die folgenden radiologischen Parameter wurden, wie in der MCS I [52], an den - zur Diagnostik und Verlaufsbeobachtung erstellten - präoperativen, postoperativen und zu den Nachuntersuchungen entstandenen konventionellen Röntgenaufnahmen im seitlichen Strahlengang (siehe Abbildung 1) ausgemessen:

- Alpha-Winkel (Körperwinkel)
- Beta-Winkel (Grund-Deckplatten-Winkel monosegmental)
- Gamma-Winkel (Grund-Deckplatten-Winkel bisegmental)
- Beck-Index

Die Winkelmessung erfolgte nach der Cobb-Methode [21]. Diese diente über die Darstellung der Abweichungen der Wirbelsäulenachse im anterior-posterioren Strahlengang zunächst der Skoliose-Klassifikation. Später fand sie auch Anwendung zur Indikationsstellung bei orthopädisch-unfallchirurgischen Operationen und zur Messung des posttraumatischen Kyphosewinkels bei Wirbelkörperfrakturen.

Um Ungenauigkeiten zu minimieren und bei allen Röntgenbildern gleiche Messbedingungen bei unterschiedlichen Lagen der Wirbelkörper im Strahlengang zu erzielen, wurden - je nach Lage des Wirbelkörpers im Zentralstrahl - entweder die Punkte zur Winkelmessung genau auf der Linie der Grund- und Deckplatte des entsprechenden Wirbelkörpers angenommen (Lage des Wirbelkörpers im Zentralstrahlengang) oder es

erfolgte bei gekippten Abbildungen der Wirbelkörper zunächst eine ellipsoide Darstellung der Grund- und Deckplatten. Im Anschluss wurde der größte Abstand zweier Punkte auf der gedachten Ellipse bestimmt. Von diesen entstandenen Punkten fand die Winkelmessung bei Wirbelkörperprojektionen außerhalb des Zentralstrahles statt.

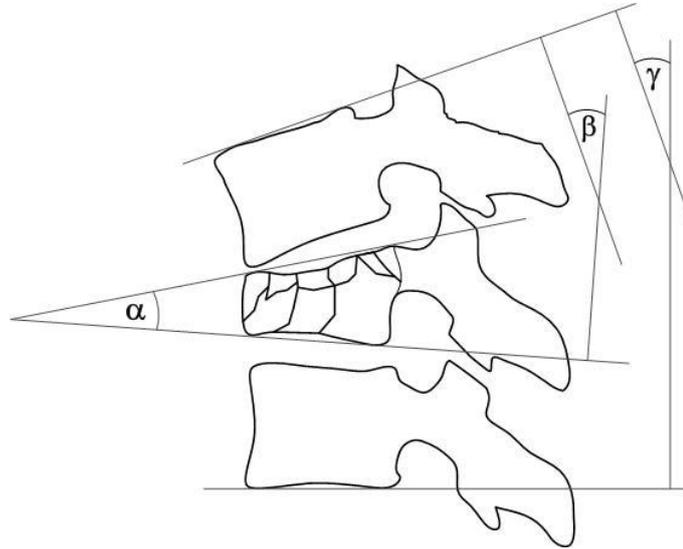


Abbildung 1: Messung des Körperwinkels (Alpha) und der mono- und bisegmentalen Grund-Deckplatten-Winkel (Beta und Gamma) im sagittalen Strahlengang eines konventionellen Röntgenbildes (in Anlehnung an Liljenqvist und Mommsen [59])

2.5.1 Körperwinkel (Alpha-Winkel)

Der Wirbelkörperwinkel, im weiteren auch Körperwinkel genannt, wurde durch je eine Linie durch die Grund- und Deckplatte des frakturierten Wirbelkörpers gebildet. Vor allem bei Verletzungen der Vorderkante, die häufig im Verlauf zur Keilwirbelbildung führen, ist dieser Winkel maßgeblich für die posttraumatische Kyphose verantwortlich.

Allerdings ist die alleinige Betrachtung des Körperwinkels im Langzeitverlauf nicht ausreichend, da prognostisch relevante Veränderungen des Zwischenwirbelraumes nicht erfasst werden.

2.5.2 Grund-Deckplatten-Winkel monosegmental (Beta-Winkel)

Der monosegmental erhobene Grund-Deckplatten-Winkel (GDW) wurde durch die Linie der Senkrechten zur Grundplatte des frakturierten Wirbels und durch die Linie der Senkrechte zur Deckplatte des oberhalb angrenzenden Wirbelkörpers gebildet.

2.5.3 Grund-Deckplatten-Winkel bisegmental (Gamma-Winkel)

Der bisegmental erfasste Grund-Deckplatten-Winkel wurde durch die angrenzenden Wirbelkörper gebildet. Er entsteht durch das Fällen des Lotes auf eine Linie durch die Grundplatte des unterhalb des frakturierten Wirbelkörpers angrenzenden Wirbelkörpers und durch die Senkrechte zur Linie der Deckplatte des sich oberhalb des betroffenen Wirbelkörpers befindenden Wirbels.

In die Messung der Grund-Deckplatten-Winkel fließen neben der Betrachtung des verletzten Wirbelkörpers (Alpha-Winkel) auch die Winkelveränderungen der angrenzenden Zwischenwirbelräume mit ein. Daher ist über diese Winkelbestimmungen neben einer Aussage bezüglich der Kyphosestellung des traumatisierten Wirbelsäulenabschnittes in der sagittalen Betrachtung auch eine Quantifizierung der Veränderung in den - an den frakturierten Wirbelkörper angrenzenden - Bandscheiben möglich [50].

Physiologisch sollten die Grund-Deckplatten-Winkel erfahrungsgemäß ca. 0° betragen. Allerdings zeigen häufig auch gesunde Probanden diesbezüglich Abweichungen [5].

2.5.4 Beck-Index

Der Sagittale Index oder Beck-Index ist der Quotient aus den Höhen von Vorderkante und Hinterkante des frakturierten Wirbelkörpers. Er dient zur Bewertung der strukturellen Integrität des Wirbelkörpers [46]. Physiologisch sollte der Sagittale Index einen Wert zwischen 0,95 und 1 haben [5]. Je kleiner der Zahlenwert, desto stärker stellt sich eine Keilwirbelbildung dar.

2.6 Interobserver-Reliabilität

Zur Darstellung der Vergleichbarkeit der Untersucher Mahlfeld und Strupeit-Döbbelin erfolgte die Nachuntersuchung der Interobserver-Reliabilität. Es wurde die Intra-Class-Correlation (ICC) anhand 16 zufällig gezogener Patienten (aus 92 Patienten der Primärdaten) geschätzt.

Ein ICC-Wert größer 0,75 zeigt eine exzellente Reproduzierbarkeit der Messergebnisse. ICC-Werte zwischen 0,4 und 0,75 belegen eine gute Reproduzierbarkeit [75].

2.7 Statistik

Zur Datenverwaltung wurde das Programm Microsoft Office Excel 97-2003 verwendet. Die inferenzstatistische Auswertung erfolgte mit Hilfe der Statistik-Software SPSS Versionen 19 und 21 (Statistical Package for Social Science Software, SPSS Inc., Chicago, USA). Die Darstellung der Ergebnisse fand mit Microsoft Office Excel statt. Die Literaturverwaltung wurde mit Citavi 4.2.0.11 durchgeführt.

Die Interobserver-Reliabilität wurde mittels der Intra-Class-Correlation der röntgenologischen Parameter geschätzt (ICC 2.1, Single measure for absolute agreement). Zur Darstellung der Abweichungen in Bland-Altman-Plots erfolgte die Berechnung der Mittelwerte und Differenzen der radiologischen Parameter. Die Übereinstimmungsgrenzen („Limits of Agreement“) wurden nach der Formel $d \pm 2 \times s$ aus der Standardabweichung der Differenzen s und der Bias d berechnet.

Die erhobenen Parameter zeigten approximativ eine Normalverteilung. Die Ergebnisse wurden als Mittelwert \pm Standardabweichung angegeben. Eine statistische Signifikanz wurde bei $p < 0,05$ angenommen und mit Ausnahme der post-hoc-Tests (siehe Abschnitt 3.1) bewusst entsprechend dem vollen Signifikanzniveau interpretiert.

Die Analyse des klinischen Nachuntersuchungsscores der Patienten wurde mit einer zweifaktoriellen Varianzanalyse (2x2) mit Messwiederholung zu den beiden Nachuntersuchungszeitpunkten durchgeführt, wobei hier der Faktor Zeit (Faktorstufen: erste Nachuntersuchung/ zweite Nachuntersuchung) als Innersubjekt- und das Geschlecht (Faktorstufen: männlich/ weiblich) als Zwischensubjektfaktor diente.

Zusätzlich wurde mit einem gepaarten T-Test der Nachuntersuchungsscore für Männer und Frauen getrennt analysiert. Hierfür wurden jeweils die Mittelwerte des Nachuntersuchungsscores der Männer zum ersten und zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt und die der Frauen zu diesen Zeitpunkten verglichen.

Die Homogenität der Varianzen wurde mit dem Mauchly-Test geprüft.

Um den Grad der Veränderung der untersuchten röntgenologischen Parameter (Alpha-, Beta-, Gamma-Winkel, Beck-Index) und den Einfluss des Geschlechts auf die Änderung der Parameter im zeitlichen Verlauf über die vier Untersuchungszeitpunkte zu bestimmen, erfolgte eine zweifaktorielle Varianzanalyse (4x2) mit Messwiederholung. Auch hierbei diente die Variable Zeit (Faktorstufen: präoperativ, postoperativ, erste Nachuntersuchung, zweite Nachuntersuchung) als Innersubjektfaktor und die Variable Geschlecht (Faktorstufen: männlich/ weiblich) als

Zwischensubjektfaktor. Es erfolgte eine Verlaufsbetrachtung zu jedem radiologischen Parameter.

Weiterhin wurde bei signifikantem Ergebnis der Varianzanalyse zu den Untersuchungszeitpunkten ein Post-hoc-Test unter multipler Adjustierung entsprechend des LSD- (least significant difference) Verfahrens durchgeführt. Mit diesem Test erfolgte die Prüfung, zwischen welchen Zeitpunkten sich die Mittelwerte der radiologischen Parameter signifikant paarweise unterscheiden.

Zum Parameter Beck-Index wurde zusätzlich ein ungepaarter T-Test zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt unter der Annahme von gleichen Varianzen durchgeführt, um auf signifikante Unterschiedlichkeit zwischen Männern und Frauen zu diesem Zeitpunkt zu prüfen.

3 Ergebnisse

3.1 Interobserver-Reliabilität

Die Interobserver-Reliabilität der Untersucher Mahlfeld und Strupeit-Döbbelin wurde mittels der Intra-Class-Correlation der röntgenologischen Parameter geschätzt und die Abweichungen in Bland-Altman Diagrammen veranschaulicht. Die röntgenologischen Indizes von 16 zufällig gezogenen Patienten wurden erneut durch beide Untersucher gemessen und die Mittelwerte und Differenzen der radiologischen Parameter berechnet (siehe Tabelle 3). In den Ergebnissen wurden jeweils der ICC-Wert und der p-Wert, der die signifikante Abweichung des erreichten ICC-Wertes von 0 widerspiegelt, angegeben. Die Bewertung erfolgte anhand Rosner [75] (siehe Abschnitt 2.6).

Für den Parameter Alpha ergab sich ein ICC-Wert von 0,721 und damit eine gute Übereinstimmung (Alpha: ICC=0,721; $p < 0,001$).

Die Intra-Klassen-Korrelationen der Parameter Beta (Beta: ICC=0,931; $p < 0,001$), Gamma (Gamma: ICC=0,878; $p < 0,001$) und Beck (Beck: ICC=0,752; $p < 0,001$) erwiesen eine exzellente Übereinstimmung der beiden Untersucher.

Die Darstellung der Interobserver-Reliabilität (siehe Abbildung 2, Abbildung 3, Abbildung 4 und Abbildung 5) erfolgte zu jedem radiologischen Parameter mit Hilfe der Bland-Altman-Methode (Berechnungsgrundlage siehe Tabelle 3). Diese Methode berücksichtigt in der graphischen Darstellung neben der durchschnittlichen Übereinstimmung auch die Streuung der einzelnen Messwertdifferenzen [37]. Anhand dieser Darstellung lässt sich die Schwankungsbreite der Messübereinstimmung der beiden Untersucher Mahlfeld und Strupeit-Döbbelin optisch und mittels Berechnung der Limits of Agreement (siehe Tabelle 4) mathematisch beurteilen.

Tabelle 3: Mittelwerte (MW) und Differenzen (Δ) der radiologischen Parameter, die zur Bildung der Bland-Altman-Plots verwendet wurden

Patient	MW Beck	Δ Beck	MW Alpha	Δ Alpha	MW Beta	Δ Beta	MW Gamma	Δ Gamma
1	0,65	0,05	10	-2	15,5	-3	9,5	-5
2	0,85	0,06	5,5	-1	10,5	5	13,5	9
3	0,49	-0,11	18,5	3	38	4	41	-2
4	0,62	-0,15	16,5	9	19	-6	21	8
5	0,91	-0,01	4,5	-3	6,5	-3	11,5	-11
6	0,82	-0,01	9,5	1	15,5	7	15	-4
7	0,70	-0,29	13	10	23	0	30	-2
8	0,65	0,01	10	0	21	-2	24	0
9	0,79	0	8	-2	2	0	14	6
10	0,67	-0,07	8,5	3	8,5	3	9	-2
11	0,7	0,02	12	2	17	2	20,5	1
12	0,74	0,13	14	4	10,5	3	18	4
13	0,76	0	10	0	22,5	-1	15	2
14	1	0	0	0	5,5	1	0,5	1
15	0,96	0,07	0	0	1,5	-1	5,5	-3
16	0,73	-0,08	8	6	13,5	5	18	-2

Tabelle 4: Übereinstimmungsgrenzen (Limits of Agreement)

	Untere Grenze	Obere Grenze
Beck	-0,22	0,18
Alpha	-5,75	9,49
Beta	-6,16	7,91
Gamma	-10,2	10,2

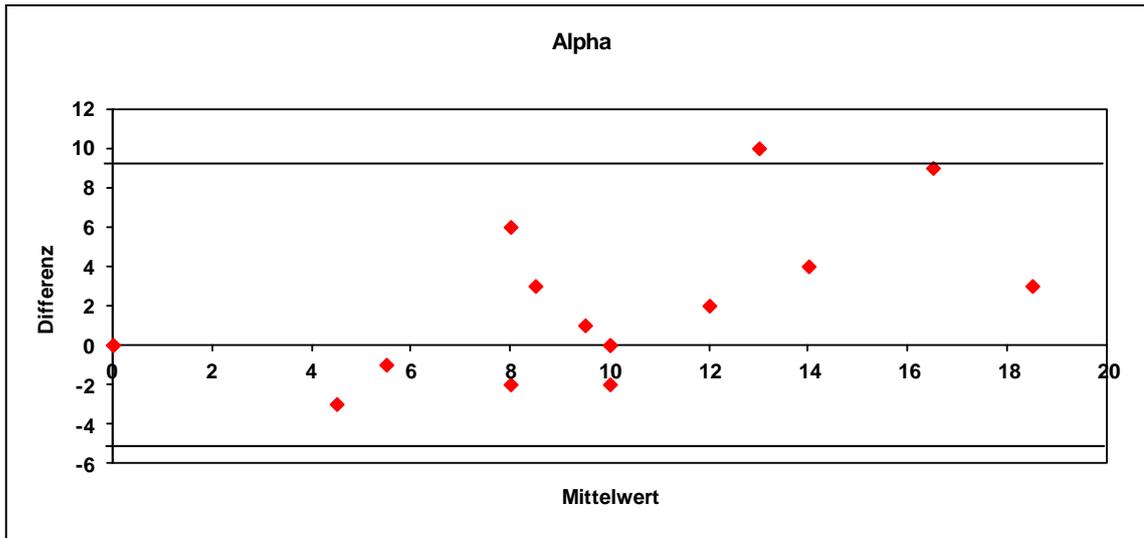


Abbildung 2: Bland-Altman-Diagramm für den Winkel Alpha mit den Limits of Agreement von -5,75 und 9,49, der im Rahmen der Reliabilitätsanalyse zufällig gezogenen Patienten

Es zeigte sich ein Limit of Agreement von -5,75 bis 9,49 für den Alpha-Winkel. Bei steigenden Mittelwerten des Alpha-Winkels traten zwischen den Untersuchern tendenziell größere Schwankungsbreiten der Messübereinstimmung und positive Differenzen auf.

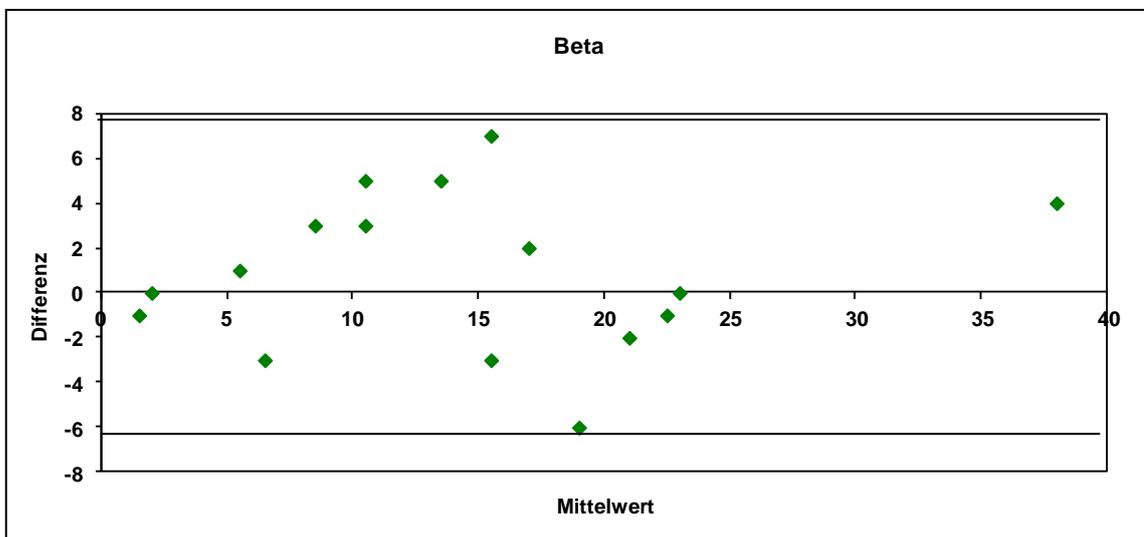


Abbildung 3: Bland-Altman-Diagramm für den Winkel Beta mit den Limits of Agreement von -6,16 und 7,91, der im Rahmen der Reliabilitätsanalyse zufällig gezogenen Patienten

Für den Beta-Winkel ergaben sich die Übereinstimmungsgrenzen von -6,16 und 7,91. Bei diesem radiologischen Parameter waren die Abweichungen der Untersucher sehr homogen über die Mittelwerte verteilt.

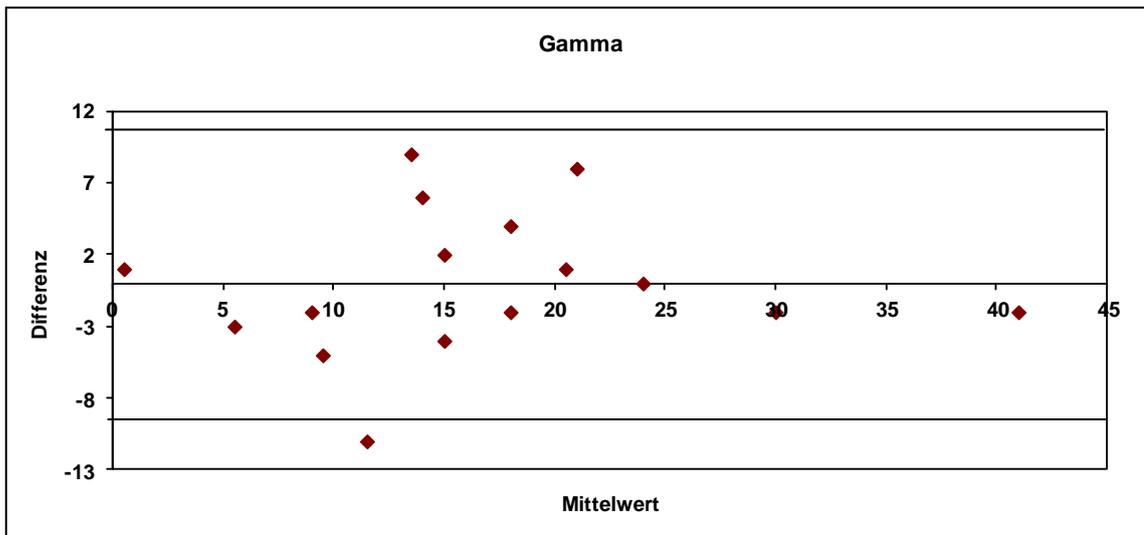


Abbildung 4: Bland-Altman-Diagramm für den Winkel Gamma mit den Limits of Agreement von $-10,2$ und $10,2$, der im Rahmen der Reliabilitätsanalyse zufällig gezogenen Patienten

Die Grenzen für den Gamma-Winkel lagen bei $-10,2$ und $10,2$. Bei diesem Parameter fanden sich bei niedrigen und sehr hohen Mittelwerten des Winkels eher negative Differenzen der Ergebnisse zwischen den Untersuchern. Im mittleren Bereich der Mittelwerte zwischen 10° und 20° existierte eine ausgewogene Verteilung der Differenzen.

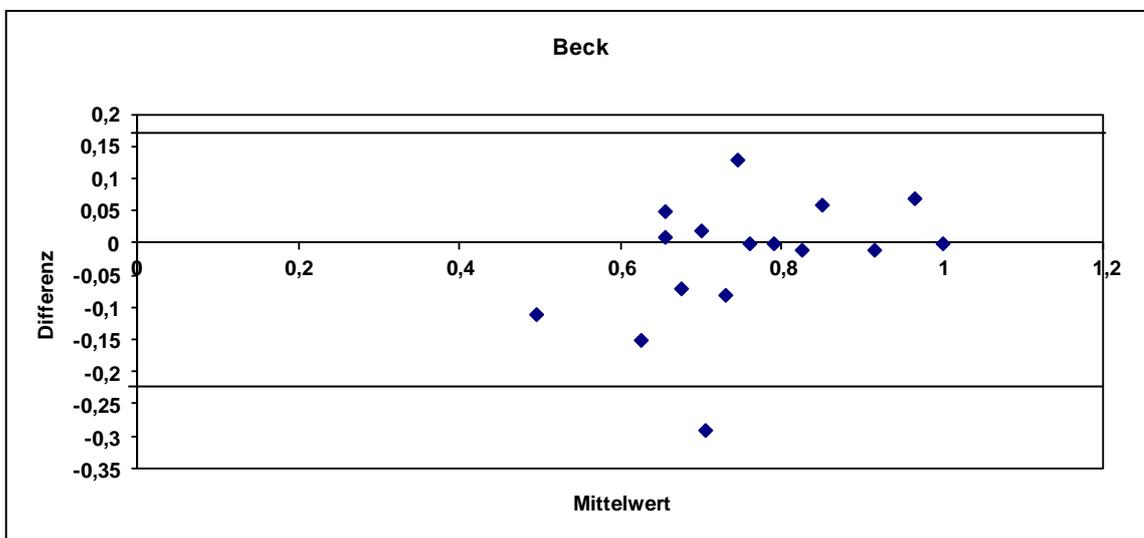


Abbildung 5: Bland-Altman-Diagramm für den Beck-Index mit den Limits of Agreement von $-0,22$ und $0,18$, der im Rahmen der Reliabilitätsanalyse zufällig gezogenen Patienten

Die Limits of Agreement des Beck-Indexes betragen $-0,22$ und $0,18$. Die Abweichungen der Untersucher waren insgesamt homogen über die Mittelwerte verteilt.

Zusammenfassend schlossen die Übereinstimmungsgrenzen aller radiologischer Parameter die Differenz 0 ein. Es lag also keine systematische Über- oder Unterschätzung der Gutachter zu den erhobenen Parametern vor.

Somit konnte im Rahmen der Reliabilitätsanalyse der Untersucher Mahlfeld und Strupeit-Döbbelin sowohl graphisch als auch mittels ICC eine gute bis exzellente Übereinstimmung nachgewiesen werden, womit die geprüften Parameter zur weiteren statistischen Analyse verwendet werden konnten ohne berücksichtigen zu müssen, wann bzw. durch wen sie erhoben wurden.

3.2 Allgemeine Parameter

3.2.1 Patientenkollektiv

Von 1991 bis 2001 wurden insgesamt 92 dorsale Stabilisierungen von Patienten mit traumatischer Wirbelkörperfraktur in den Operationsbüchern der Klinik für Orthopädie der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg dokumentiert. Darunter befanden sich 62 Männer und 30 Frauen mit einem mittleren Alter zum Unfallzeitpunkt von 43,7 Jahren. In diesem Patientenkollektiv war der Sturz aus der Höhe die häufigste Unfallursache (50%) gefolgt von Verkehrsunfällen (31,5%) und banalen Stürzen (14,1%). Bei 73 Patienten (79,3%) war die Fraktur im thorakolumbalen Übergang lokalisiert. 45 Patienten erlitten eine Fraktur am ersten Lendenwirbelkörper.

Zu 88 der 92 Patienten konnten die Akten aus dem Klinikarchiv im Jahr 2007 bezogen werden.

Hiervon wurden 83 Patienten zur Nachuntersuchung 2007/2008 einbestellt, da 5 Patienten wegen erfolgter Spongiosaplastik ausgeschlossen wurden. 48 Patienten nahmen an dieser zweiten Nachuntersuchung teil (9 Patienten waren verstorben, 9 Patienten konnten postalisch nicht erreicht werden und 17 Patienten waren zur zweiten Nachuntersuchung nicht erschienen).

Zu 24 Patienten fehlten einzelne Werte der radiologischen Parameter zum präoperativen oder postoperativen Untersuchungszeitpunkt, sodass abschließend 24 Patienten die Einschlusskriterien (siehe Abschnitt 2.1) erfüllten und in die statistische Erhebung einbezogen wurden.

3.2.2 Alters- und Geschlechtsverteilung

Der Altersdurchschnitt zum Unfallzeitpunkt lag unter den 24 in die endgültige statistische Analyse einbezogenen Patienten bei $43 \pm 14,5$ Jahren, wobei der jüngste Patient 19 Jahre alt war und der älteste 72 Jahre. Im Patientenkollektiv fanden sich $n=4$ (16,7%) Frauen und $n=20$ (83,3%) Männer. Frauen waren zum Unfallzeitpunkt im Mittel $50,5 \pm 11,9$ Jahre und Männer $41,5 \pm 14,7$ Jahre alt.

3.2.3 Unfallursache

Hauptunfallursache war der Sturz aus einer Höhe von über 2 m (siehe Tabelle 5). PKW-Unfälle erwiesen sich als zweithäufigste Ursache von Wirbelkörperfrakturen. Die wenigsten Wirbelsäulenfrakturen wurden durch Unfälle der Kategorie 4 (Motorrad) und 5 (Gewicht/Höhe) verursacht.

Tabelle 5: Verteilung des Patientenkollektivs bezüglich der Unfallursachen

Kategorie Unfallursache	Anzahl	Anteil [%]
Sturz/Höhe	13	54,2
Banaler Sturz	2	8,3
PKW	7	29,2
Motorrad	1	4,2
Gewicht/Höhe	1	4,2

3.2.4 Frakturlokalisierung

In 79,2% der Fälle ($n=19$) befand sich die Fraktur im Bereich des thorakolumbalen Übergangs Th11 – L2 (Gruppe 2). Am häufigsten war der Lendenwirbelkörper 1 betroffen. Seltener ($n=2$) war eine Fraktur im Wirbelsäulenabschnitt L3 – L5 (Gruppe 3) vorzufinden (siehe Abbildung 6).

Nur bei $n=3$ Patienten (12,5%) war die Fraktur im Bereich Th1 – Th10 (Gruppe 1) lokalisiert.

Bei einem Patienten konnte eine Fraktur auf zwei Wirbelsäulenebenen beobachtet werden (Zuordnung zu Gruppe 2 und 3).

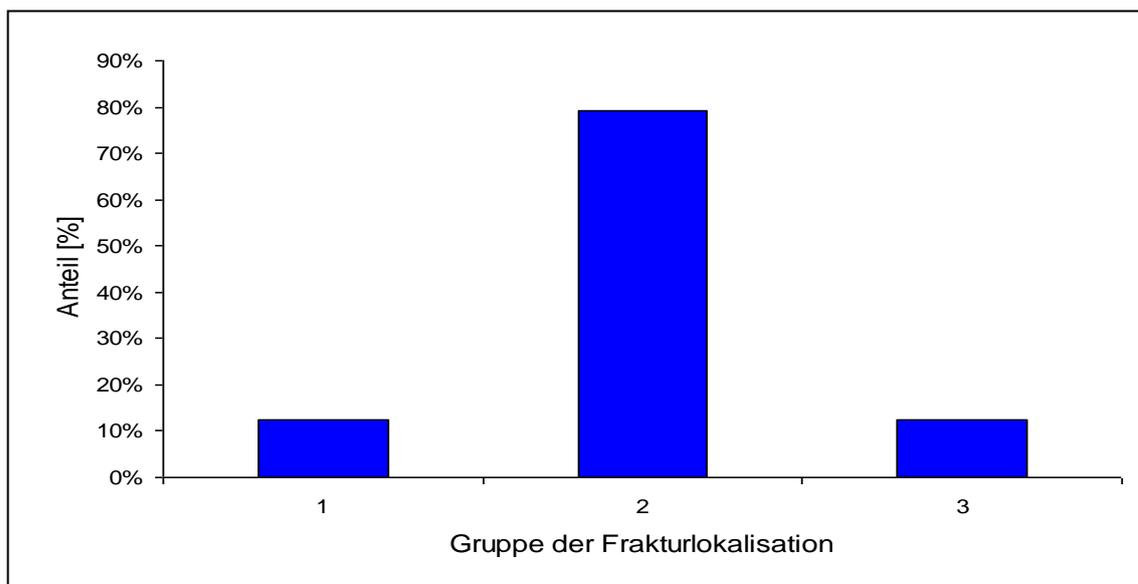


Abbildung 6: Verteilung der Frakturlokalisierung (Gruppe 1: Th1-Th10; Gruppe 2: Th11-L2; Gruppe 3: L3-L5)

3.2.5 Frakturmerkmale

Die posttraumatische Spinalkanaleinengung wurde anhand der Wolter-Klassifikation [91] eingeteilt.

Bei n=5 Patienten (20,8%) zeigten sich auf den CT-Bildern keine Einengungen.

Durch eine Delokalisation der Hinterkante der mittleren Säule des Wirbelkörpers im Rahmen des Traumas kam es bei n=19 (79,2 %) Patienten zu einer intraspinalen Kompression.

Wie in Tabelle 6 ersichtlich, wiesen 13 (54,2%) Patienten eine Einengung bis zu einem Drittel des Spinalkanals auf. Lediglich bei n=6 Patienten (25%) lag eine Einengung des Spinalkanals um mehr als ein Drittel des normalen Querschnitts vor (Gruppe 2 und 3).

Tabelle 6: Verteilung der Patienten gemäß Wolter-Klassifikation

Wolter-Klassifikation	Anzahl Patienten	Anteil [%]
0	5	20,8
1	13	54,2
2	5	20,8
3	1	4,2

3.2.6 Operationszeitpunkt

Im Mittel lag der Operationszeitpunkt bei $8 \pm 7,3$ Tagen nach dem Unfall.

Patienten mit direkter Einweisung in die Orthopädische Universitätsklinik Magdeburg wurden meist noch am Unfall- oder Folgetag operiert. Bei einigen Patienten ergab sich eine zeitliche Verzögerung, da zunächst die intensivmedizinische Stabilisierung des Patienten abgewartet werden musste, um die Operationsfähigkeit zu erreichen. Weitere Verzögerungen entstanden zum Beispiel durch die Zuverlegung aus anderen Einrichtungen.

Um eine bessere Beurteilbarkeit zu erzielen, wurden drei Gruppen gebildet (siehe Abschnitt 2.3.1).

Wie in Tabelle 7 dargestellt, konnten die meisten Patienten (n=11) der Gruppe 1 (OP 1 - 6 Tage nach Unfallgeschehen) zugeordnet werden (45,8%). Nur wenige (n=4) wurden im Zeitraum 3 (Operation nach mehr als 14 Tagen nach Unfallgeschehen) versorgt (16,7%).

Tabelle 7: Verteilung des Patientenkollektivs auf die Operationszeitpunkte

Operationszeitpunkt	Anzahl	Anteil [%]
1	11	45,8
2	9	37,5
3	4	16,7

3.2.7 Verwendetes System

Im Rahmen der dorsalen Stabilisierung wurden verschiedene Systeme verwendet (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Verwendete Systeme zur dorsalen Stabilisierung

System	Hersteller
Diapason	Stryker
Dick	Synthes
Isola	Acromed
Spine	Aesculap
Socon	Aesculap
XIA	Stryker

Die Patienten wurden mehrheitlich (n=19, 79,2%) mit einem Socon-Fixateur versorgt.

3.2.8 Postoperative Komplikationen

Es lag im Patientenkollektiv eine geringe Komplikationsrate vor. Ein Patient zeigte postoperativ eine Wundheilungsstörung. Weitere Komplikationen traten nicht auf.

3.2.9 Materialentfernung

Bei n=12 Patienten (50%) wurde bis zur zweiten Nachuntersuchung eine Materialentfernung durchgeführt. In n=12 Fällen (50 %) wurde aufgrund des fortgeschrittenen Lebensalters oder auf Wunsch des Patienten auf eine Materialentfernung verzichtet.

3.2.10 Nachuntersuchungszeitpunkt

Die erste Nachuntersuchung erfolgte im Mittel nach $21,2 \pm 16,5$ Monaten (frühester Termin 6,3 Monate und spätester Zeitpunkt 85,9 Monate nach OP). Ergebnisse zur zweiten Nachuntersuchung wurden im Durchschnitt nach $129,5 \pm 30,4$ Monaten erhoben, wobei die früheste Nachuntersuchung nach 87 Monaten erfolgte. Der längste Nachuntersuchungszeitraum wurde mit 194 Monaten dokumentiert.

Frauen wurden im Mittel nach $129 \pm 18,9$ Monaten nachuntersucht. Männer wiesen einen vergleichbaren Mittelwert des Nachuntersuchungszeitpunktes von $129,6 \pm 32,6$ Monaten auf.

3.3 Klinische Parameter

3.3.1 Neurologischer Befund

Der größte Anteil der Patienten n=23 (95,8%) zeigte bei stationärer Aufnahme keine neurologische Symptomatik - entsprechend Frankel-/ASIA-Klassifikationsstufe E (siehe Abschnitt 2.4.1).

Nur 1 Patient wurde präoperativ mittels der Frankel-/ASIA-Klassifikation der Stufe C zugeordnet. Dieser Patient zeigte auch im CT eine deutliche Einengung (mehr als $\frac{2}{3}$) des Spinalkanals und wurde nach der Wolter-Klassifikation der Gruppe 3 zugewiesen. Postoperativ kam es bei diesem Patienten zunächst zu einer Verschlechterung. Zu den Nachuntersuchungen wurde der neurologische Zustand dieses Patienten der Stufe D der Frankel-/ASIA-Klassifikation zugeordnet.

Bei den verbleibenden n=23 Patienten trat im postoperativen Verlauf keine Verschlechterung des neurologischen Befundes auf. Zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt wiesen sie eine intakte Sensibilität und Motorik auf und konnten somit erneut der Frankel-/ASIA-Klassifikationsstufe E zugeordnet werden.

3.3.2 Funktionsparameter

Zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt wurde das Bewegungsausmaß der Wirbelsäule an Hand des Schober-Maßes, des Fußboden-Finger-Abstandes, des Lasègue-Tests und der Seitneigung geprüft. Die Differenz des Schober-Maßes konnte im Mittel mit $4,2 \text{ cm} \pm 1,9 \text{ cm}$ ermittelt werden. Minimal wurde ein Maß von 12 cm, maximal von 18 cm gemessen.

Für den Fußboden-Finger-Abstand wurden ein Mittelwert von 18,1 cm und eine Standardabweichung von 20,6 cm erhoben. Sieben Patienten zeigten keine Bewegungseinschränkung und erreichten einen Abstand von 0 cm.

Im Mittel konnte eine Seitneigung von $29,6^\circ \pm 9,4^\circ$ links und $29,1^\circ \pm 8,9^\circ$ rechts gemessen werden.

Der Lasègue-Test war bei n=21 Patienten negativ. Bei drei Patienten war der Lasègue-Test nicht durchführbar.

3.3.3 Narbenlänge

Wie in Abbildung 7 dargestellt, streute die Narbenlänge der Patienten von 13 cm (Minimum) bis 20 cm (Maximum), wobei 62,5% der Patienten eine Narbenlänge von weniger als 16 cm aufwiesen. Die durchschnittliche Narbenlänge betrug $15,1 \text{ cm} \pm 1,7 \text{ cm}$.

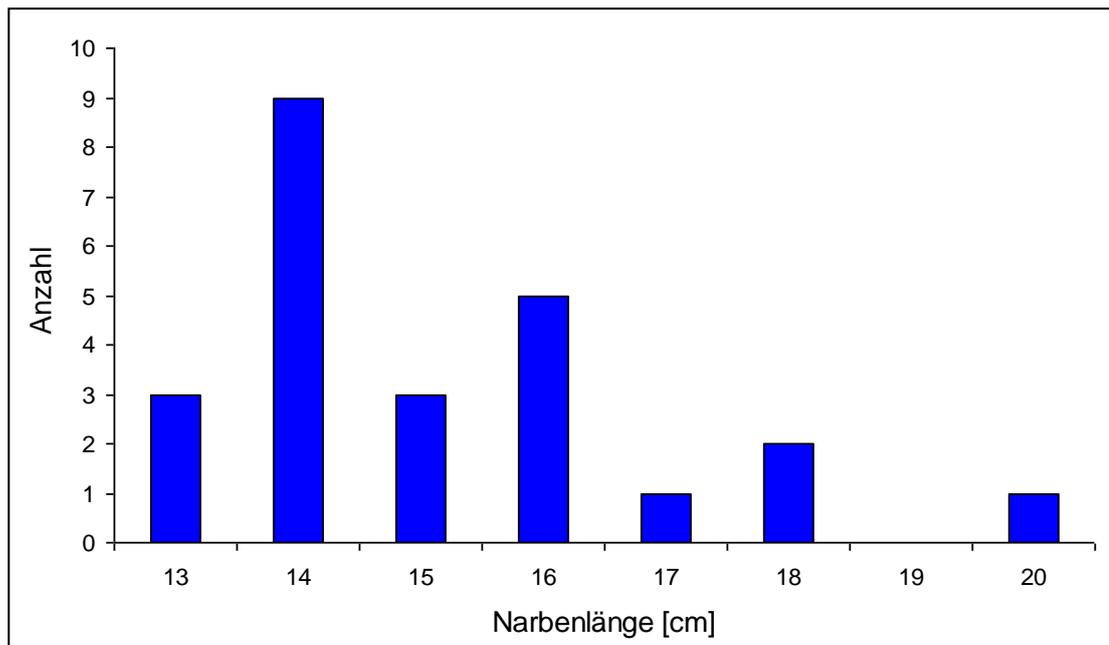


Abbildung 7: Verteilung der Narbenlängen zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt

3.3.4 Berufsstatus

Zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt wurde der Berufsstatus im postoperativen Verlauf erhoben. Die Befragung ergab bei $n=16$ Patienten (66,7%) eine Tätigkeit im gleichen Beruf wie vor dem Unfall. Nur einer der 16 Patienten berichtete in seinem Tätigkeitsfeld eingeschränkt zu sein. Bei der Mehrheit (15 Patienten) zeigten sich keine Einschränkungen im beruflichen Alltag. 16,7% der Patienten ($n=4$) mussten postoperativ einen Arbeitsplatzwechsel in eine leichtere Tätigkeit vollziehen. 12,5% der Patienten ($n=3$) wurden nach dem Trauma berentet und ein Patient wurde arbeitslos.

3.3.5 Nachuntersuchungsscore

Der Score-Mittelwert als Parameter für das klinische Outcome der Patienten (siehe Abschnitt 2.4.2 Nachuntersuchungsscore) betrug von allen Patienten zur ersten Nachuntersuchung $75,3 \pm 19,3$. Zur zweiten Nachuntersuchung stieg er signifikant auf $81,3 \pm 19,2$ ($F=12$; $p=0,002$).

Diese Veränderung des Nachuntersuchungsscores im zeitlichen Verlauf unterschied sich signifikant zwischen Männern und Frauen ($F=8,2$; $p=0,009$).

Der Nachuntersuchungsscore änderte sich somit nicht nur signifikant vom ersten zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt, sondern auch signifikant in Abhängigkeit vom Geschlecht.

Wie in Abbildung 8 ersichtlich, verbesserte sich der Mittelwert der Scorewerte der Männer nur minimal vom ersten zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt. Es fand sich für diese Veränderung kein signifikantes Ergebnis ($t=-0,7$; $p=0,5$). Frauen hatten zum ersten Nachuntersuchungszeitpunkt deskriptiv erkennbar einen geringeren Mittelwert des Nachuntersuchungsscores als Männer und zeigten im Verlauf zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt eine deutliche Steigerung der Score-Mittelwerte ($t=-5,7$; $p=0,01$). Zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt näherten sich die Scorewerte von Frauen und Männern an, wobei Frauen selbst zum zweiten Nachuntersuchungszeitraum deskriptiv geringere Mittelwerte als Männer zeigten.

Bei allen vier Frauen verbesserte sich der Scorewert zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt. Von den 20 nachuntersuchten Männern verbesserten sich nur zwölf, acht Männer zeigten zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt sogar schlechtere Scorewerte.

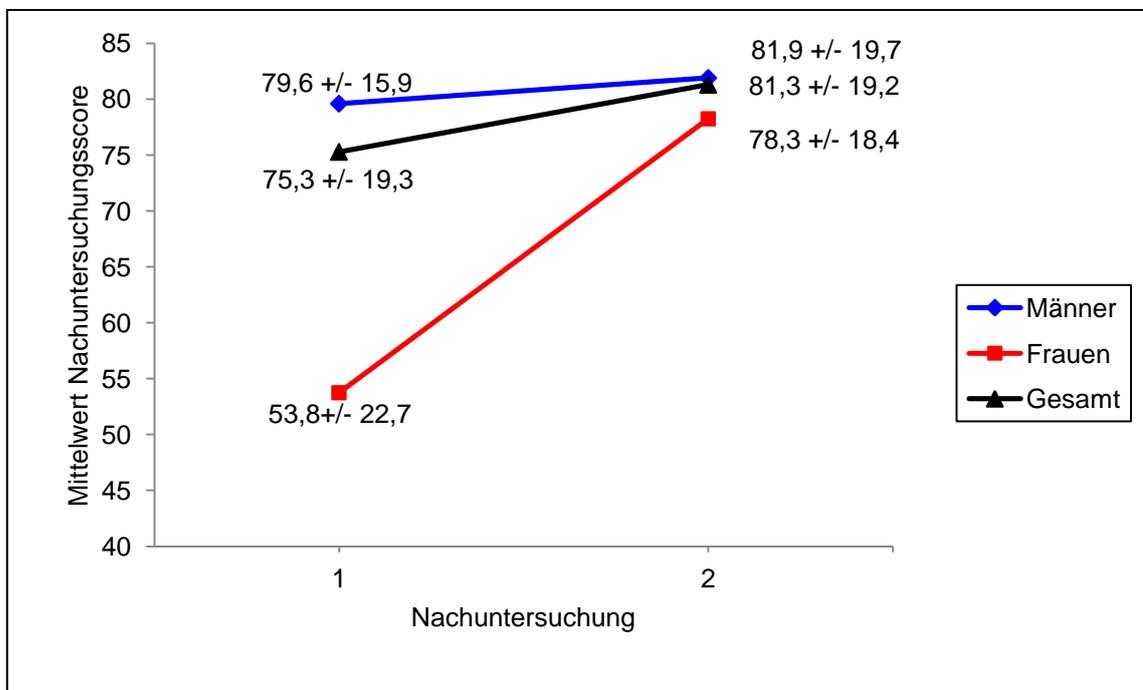


Abbildung 8: Entwicklung des Nachuntersuchungsscores des gesamten Patientenkollektivs und geschlechtsspezifisch vom ersten zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt (Mittelwerte und Standardabweichungen)

3.4 Radiologische Parameter

Zum präoperativen und postoperativen Zeitpunkt lagen zu allen 24 Patienten je ein Alpha-, Beta-, und Gamma-Winkel vor. Auch der Beck-Index konnte zu jedem Patienten bestimmt werden. Im Rahmen der Nachuntersuchungen erfolgte ebenfalls anhand der Röntgenbilder zu jedem Patienten eine Ermittlung dieser Parameter. Die zu den jeweiligen Zeitpunkten erhobenen Mittelwerte und Standardabweichungen sind in Tabelle 9 angegeben.

Tabelle 9: Mittelwerte und Standardabweichungen der radiologischen Parameter zu allen Untersuchungszeitpunkten

	Alpha	Beta	Gamma	Beck
Präoperativ	17,0° ± 8,2°	16,1° ± 8,9°	12,3° ± 9,4°	0,61 ± 0,13
Postoperativ	5,9° ± 4,4°	7,0° ± 4,4°	3,8° ± 6,9°	0,83 ± 0,09
1. Nachuntersuchung	6,8° ± 4,8°	7,4° ± 5,3°	6,3° ± 8,3°	0,84 ± 0,07
2. Nachuntersuchung	11,6° ± 7,1°	14,7° ± 6,3°	16,3° ± 7,3°	0,73 ± 0,15

Vom präoperativen zum postoperativen Untersuchungszeitpunkt verkleinerten sich die Mittelwerte der Winkel deutlich. Der Beck-Index stieg an. Nach der Operation nahmen die Mittelwerte der radiologischen Parameter Alpha, Beta und Gamma zu jedem folgenden Untersuchungszeitpunkt wieder zu.

Während die Winkel Alpha und Beta bzw. der Beck-Index zur zweiten Nachuntersuchung numerisch bessere Werte als zum präoperativen Zeitpunkt aufwiesen, verschlechterte sich der Wert des Winkels Gamma zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt im Vergleich zu präoperativ.

Der Beck-Index verbesserte sich vom postoperativen zum ersten Nachuntersuchungszeitpunkt geringfügig und nahm dann zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt wieder ab.

Bei 12 Patienten hatte zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt bereits eine Materialentfernung stattgefunden, während sich bei 50 % der Patienten (4 Frauen und 8 Männer) das Material noch in situ befand. Bei nicht erfolgter Materialentfernung zeigten sich größere und somit schlechtere Werte für Alpha und Beta sowie ein kleinerer und somit schlechterer Wert des Beck-Index. Der Gamma-Winkel war bei Patienten mit erfolgter Materialentfernung allerdings größer als bei Patienten mit verbliebenem Material. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der radiologischen Parameter zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt sind in Tabelle 10 ersichtlich.

Tabelle 10: Mittelwerte und Standardabweichungen der radiologischen Parameter zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt mit und ohne Materialentfernung

	Alpha	Beta	Gamma	Beck
ME erfolgt	$9,9^\circ \pm 6,2^\circ$	$12,2^\circ \pm 5,6^\circ$	$16,8^\circ \pm 7,1^\circ$	$0,77 \pm 0,14$
Keine ME	$13,3^\circ \pm 7,9^\circ$	$17,2^\circ \pm 6,1^\circ$	$15,8^\circ \pm 7,8^\circ$	$0,69 \pm 0,16$

Zum präoperativen Messzeitpunkt unterschieden sich die Mittelwerte der radiologischen Parameter Beta-Winkel und Beck-Index im Geschlechtsvergleich numerisch nur minimal. Geringe Differenzen waren bei den Mittelwerten des Alpha- und Gamma-Winkels zu verzeichnen, wobei der Körperwinkel deskriptiv bei den Männern und der bisegmentale Grund-Deckplatten-Winkel bei den Frauen höhere Mittelwerte aufwies (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Mittelwerte und Standardabweichungen der radiologischen Parameter zum präoperativen Untersuchungszeitpunkt von Männern und Frauen

	Alpha	Beta	Gamma	Beck
Männer	$17,4^\circ \pm 8,2^\circ$	$16^\circ \pm 9,3^\circ$	$11,8^\circ \pm 9,8^\circ$	$0,61 \pm 0,15$
Frauen	$14,8^\circ \pm 9^\circ$	$16,8^\circ \pm 7,9^\circ$	$14,8^\circ \pm 7,8^\circ$	$0,62 \pm 0,07$

Wie in Tabelle 12 ersichtlich, näherten sich zum postoperativen Untersuchungszeitpunkt die Mittelwerte des Gamma-Winkels im Geschlechtsvergleich deutlich an. Auch die anderen radiologischen Parameter zeigten zu diesem Zeitpunkt nur geringfügige Differenzen.

Tabelle 12: Mittelwerte und Standardabweichungen der radiologischen Parameter zum postoperativen Untersuchungszeitpunkt von Männern und Frauen

	Alpha	Beta	Gamma	Beck
Männer	$6,1^\circ \pm 4,6^\circ$	$6,7^\circ \pm 4,3^\circ$	$3,8^\circ \pm 7,3^\circ$	$0,83 \pm 0,1$
Frauen	$5,3^\circ \pm 3,9^\circ$	$8,8^\circ \pm 5^\circ$	$3,8^\circ \pm 5,7^\circ$	$0,85 \pm 0,08$

Sowohl in der ersten als auch zweiten Nachuntersuchungsperiode wiesen Frauen deskriptiv, mit Ausnahme des Alpha-Wertes zum ersten Nachuntersuchungszeitpunkt, im Vergleich zu Männern höhere Mittelwerte der gemessenen Winkel auf (siehe Tabelle 13 und Tabelle 14).

Tabelle 13: Mittelwerte und Standardabweichungen der radiologischen Parameter des ersten Nachuntersuchungszeitpunktes von Männern und Frauen

	Alpha	Beta	Gamma	Beck
Männer	$6,8^\circ \pm 5,3^\circ$	$7,2^\circ \pm 5,4^\circ$	$6,1^\circ \pm 8,6^\circ$	$0,83 \pm 0,08$
Frauen	$6,5^\circ \pm 1,3^\circ$	$8,8^\circ \pm 5^\circ$	$7,0^\circ \pm 7,8^\circ$	$0,84 \pm 0,05$

Zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt stellte sich deskriptiv betrachtet eine Zunahme der geschlechtsspezifischen Differenzen der Mittelwerte dar (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14: Mittelwerte und Standardabweichungen der radiologischen Parameter des zweiten Nachuntersuchungszeitpunktes von Männern und Frauen

	Alpha	Beta	Gamma	Beck
Männer	$10,2^\circ \pm 6^\circ$	$13,7^\circ \pm 6,6^\circ$	$15,5^\circ \pm 7,3^\circ$	$0,76 \pm 0,13$
Frauen	$18,6^\circ \pm 10^\circ$	$19,9^\circ \pm 3,4^\circ$	$21,8^\circ \pm 5,1^\circ$	$0,56 \pm 0,19$

Mittels Varianzanalyse wurden für alle Winkel und für den Beck-Index signifikante Veränderungen im Zeitverlauf über die Messzeitpunkte gefunden (Alpha: $F=13,36$; $p<0,001$; Beta: $F=15,25$; $p<0,001$; Gamma: $F=21,09$; $p<0,001$; Beck: $F=17,56$; $p<0,001$). Bezüglich der Veränderung der radiologischen Parameter im Zeitverlauf in Abhängigkeit vom Geschlecht konnte für die Winkel Alpha ($F=2,91$; $p=0,06$), Beta ($F=0,88$; $p=0,42$) und Gamma ($F=1,02$; $p=0,38$) keine Signifikanz nachgewiesen werden. Somit lässt sich bei diesen Winkeln kein signifikanter Unterschied im Verlauf zwischen Frauen und Männern erkennen. Die Analyse der Zeit-Geschlecht-Interaktion des Beck-Index erbrachte den Nachweis der Signifikanz ($F=3,7$; $p=0,031$). Somit war der Beck-Index im Zeitverlauf als einziger radiologischer Parameter bei Männern und Frauen signifikant unterschiedlich.

Im Folgenden sind die Veränderungen der radiologischen Parameter dargestellt und die Verläufe mit Post-hoc-Analysen unterlegt.

Alpha-Winkel

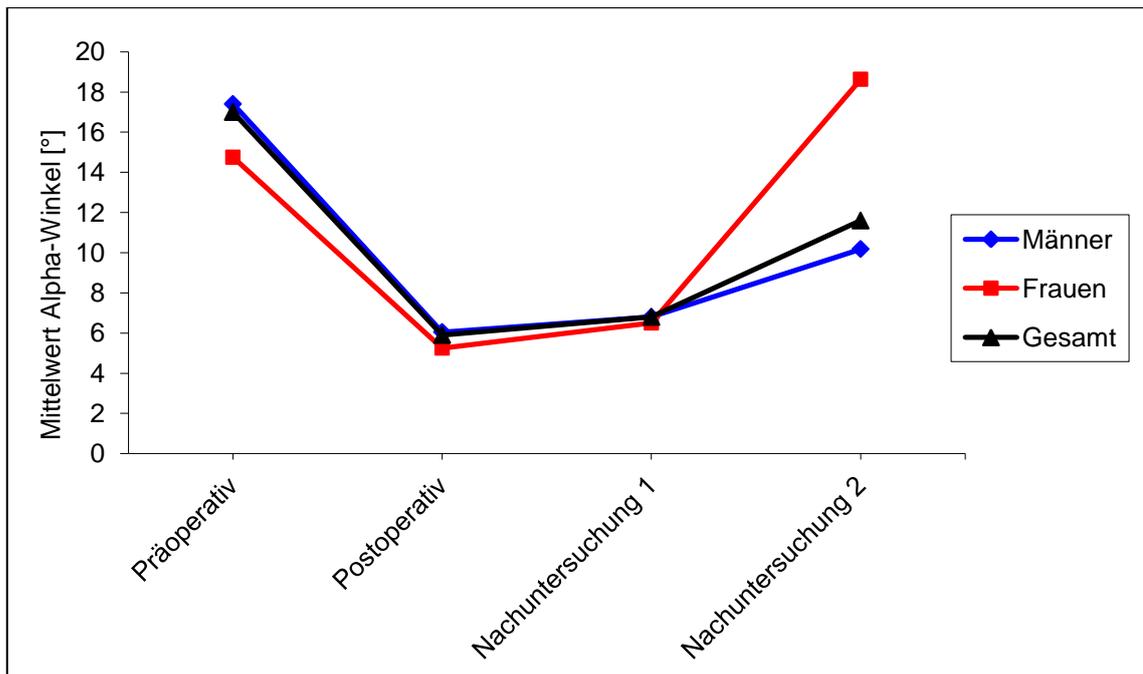


Abbildung 9: Alpha-Winkel im Zeitverlauf für das gesamte Patientenkollektiv und in Abhängigkeit vom Geschlecht

Wie in Abbildung 9 dargestellt, war der Winkel Alpha sowohl für Frauen als auch für Männer im Zeitverlauf nicht konstant. Durch die Operation konnte eine signifikante Reduktion des Mittelwertes und somit eine Verbesserung für beide Geschlechter erreicht werden (präoperativ vs. postoperativ: $p < 0,001$). Bis zum ersten Nachuntersuchungszeitpunkt konnte dieser Korrekturgewinn annähernd gehalten werden (präoperativ vs. Nachuntersuchung 1: $p = 0,001$; postoperativ vs. Nachuntersuchung 1: $p = 0,3$). Lediglich eine geringe, nicht signifikante, Verschlechterung war zu verzeichnen. Diese nahm zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt allerdings weiter zu (Nachuntersuchung 1 vs. 2: $p < 0,001$), wobei die Zunahme des Mittelwertes bei den Männern deskriptiv deutlich geringer war als bei den Frauen. Frauen zeigten zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt numerisch einen schlechteren Mittelwert als präoperativ. Männer profitierten dagegen bezüglich des Alpha-Winkels stärker von der Operation, da der Wert zur zweiten Nachuntersuchung deskriptiv unter dem präoperativen Mittelwert blieb. Das Gesamtkollektiv zeigte zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt keinen signifikant schlechteren Mittelwert des Körperwinkels als vor Operation (präoperativ vs. Nachuntersuchung 2: $p = 0,503$).

Beta-Winkel

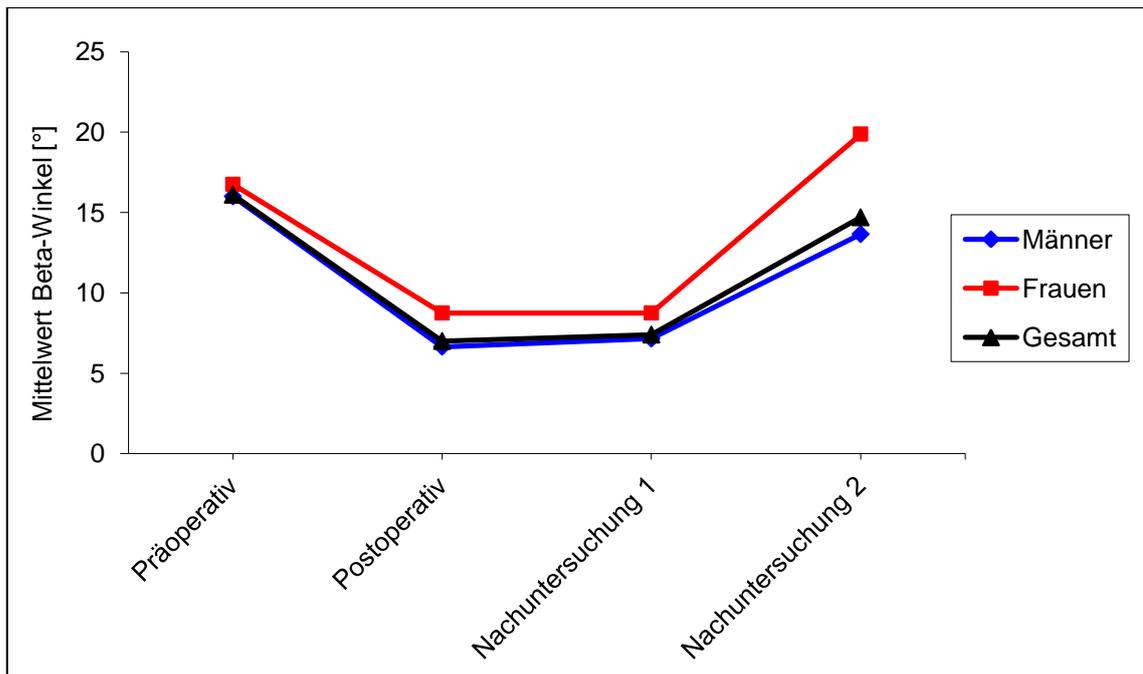


Abbildung 10: Beta-Winkel im Zeitverlauf für das gesamte Patientenkollektiv und in Abhängigkeit vom Geschlecht

Wie aus Abbildung 10 ersichtlich, veränderte sich auch der Mittelwert des Beta-Winkels im Zeitverlauf für Männer und Frauen. Durch die Operation wurde zunächst eine signifikante Verringerung der Mittelwerte und somit eine Verbesserung des Winkels erreicht (präoperativ vs. postoperativ: $p=0,001$). Dieser Korrekturgewinn konnte bis zum ersten Nachuntersuchungszeitpunkt fast vollständig gehalten werden (präoperativ vs. Nachuntersuchung 1: $p<0,001$; postoperativ vs. Nachuntersuchung 1: $p=0,749$). Zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt fand bei beiden Geschlechtern wieder eine signifikante Zunahme des Mittelwertes statt (Nachuntersuchung 1 vs. 2: $p<0,001$). Frauen zeigten deskriptiv schlechtere Werte als präoperativ. Männer profitierten scheinbar deutlicher von der Operation. Auch der Mittelwert des Beta-Winkels war bei ihnen zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt deskriptiv geringer als präoperativ. Ohne Geschlechtsbetrachtung zeigte das Patientenkollektiv keinen signifikanten Unterschied der Mittelwerte zwischen dem präoperativen Zeitpunkt und dem zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt (präoperativ vs. Nachuntersuchung 2: $p=0,861$).

Gamma-Winkel

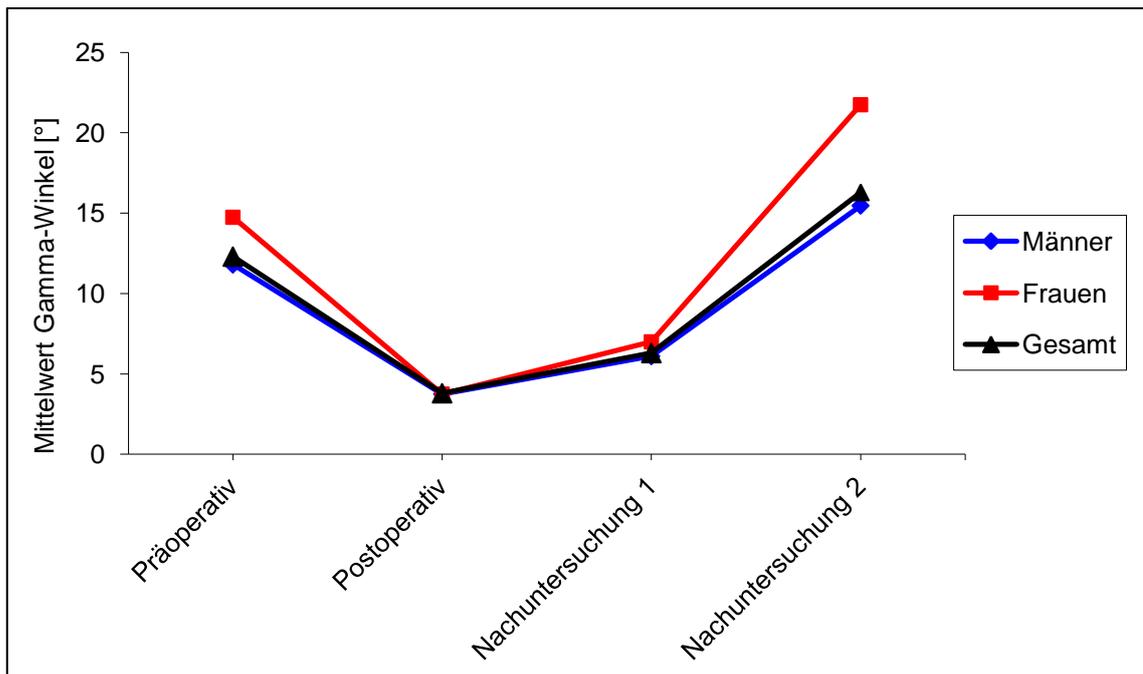


Abbildung 11: Gamma-Winkel im Zeitverlauf für das gesamte Patientenkollektiv und in Abhängigkeit vom Geschlecht

Wie in der Abbildung 11 sichtbar, änderte sich ebenfalls der Gamma-Winkel bei beiden Geschlechtern im Zeitverlauf. Allerdings war der Gamma-Winkel von den vier untersuchten radiologischen Parametern der einzige, bei dem sich zwischen allen Messzeitpunkten ein signifikanter Unterschied nachweisen ließ.

Durch die Operation konnte bei Frauen und Männern eine signifikante Verkleinerung und somit Verbesserung des Winkels erzielt werden (präoperativ vs. postoperativ: $p < 0,001$). Zum ersten Nachuntersuchungszeitpunkt konnte dieser Korrekturgewinn nicht vollständig gehalten werden. Die Mittelwerte des Gamma-Winkels waren signifikant besser als präoperativ (präoperativ vs. Nachuntersuchung 1: $p = 0,001$), allerdings signifikant schlechter als unmittelbar postoperativ (postoperativ vs. Nachuntersuchung 1: $p = 0,038$). Es trat schon zu diesem Zeitpunkt ein Korrekturverlust ein. Zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt verschlechterten sich die Mittelwerte weiter signifikant (Nachuntersuchung 1 vs. 2: $p < 0,001$). Es wurden im Patientenkollektiv größere Mittelwerte und somit schlechtere Ergebnisse als präoperativ erreicht (präoperativ vs. Nachuntersuchung 2: $p = 0,028$), wobei dies bei Frauen deskriptiv deutlicher ausgeprägt war als bei Männern.

Beck-Index

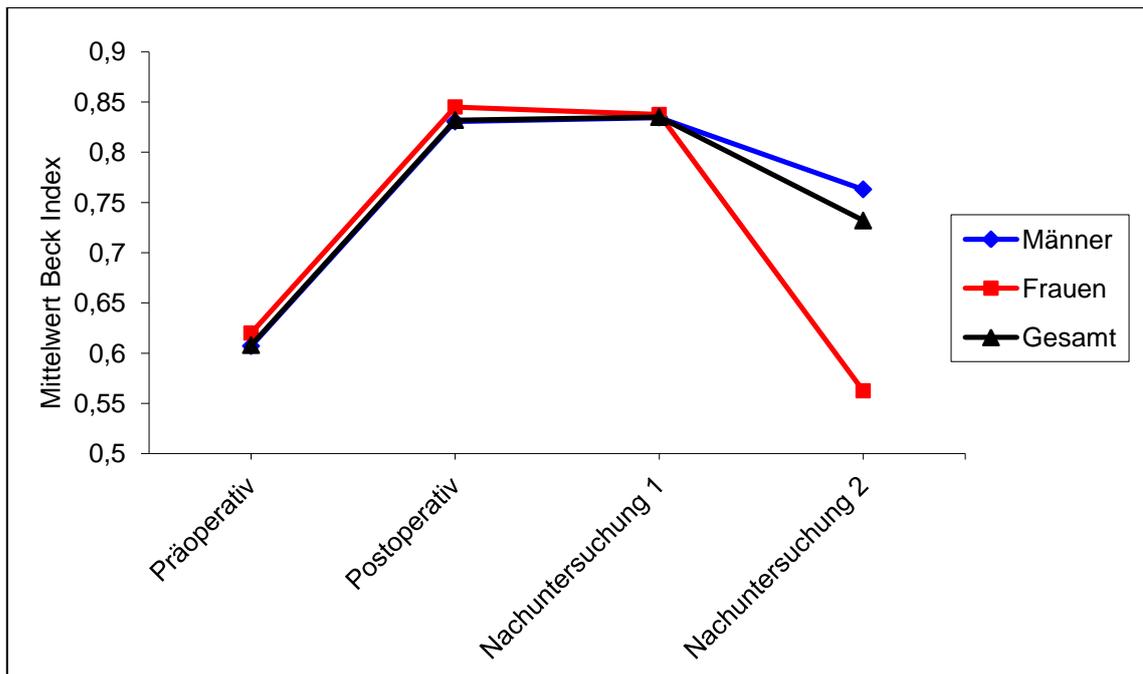


Abbildung 12: Beck-Index im Zeitverlauf für das gesamte Patientenkollektiv und in Abhängigkeit vom Geschlecht

In Abbildung 12 lässt sich die Änderung der Mittelwerte des Beck-Index im zeitlichen Verlauf von Männern und Frauen erkennen. Nach Operation war eine deutliche Steigerung und somit signifikante Verbesserung des Indexes zu verzeichnen (präoperativ vs. postoperativ: $p < 0,001$). Bis zum ersten Nachuntersuchungszeitpunkt konnte dieser Korrekturgewinn bei beiden Geschlechtern approximativ gehalten werden (präoperativ vs. Nachuntersuchung 1: $p < 0,001$; postoperativ vs. Nachuntersuchung 1: $p = 0,923$). Zum Zeitpunkt der zweiten Nachuntersuchung war eine Reduktion des Beck-Index eingetreten (Nachuntersuchung 1 vs. 2: $p < 0,001$). Diese Verschlechterung war bei den Männern deskriptiv deutlich geringer als beim weiblichen Geschlecht.

Die Mittelwerte des Beck-Index von Männern und Frauen zu diesem Messzeitpunkt unterschieden sich signifikant voneinander, wobei Männer bessere Mittelwerte aufwiesen ($t = 2,7$; $p = 0,013$).

Der Beck-Index zeigte zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt im Mittelwert keinen signifikanten Unterschied zum präoperativen Messzeitpunkt (präoperativ vs. Nachuntersuchung 2: $p = 0,341$). Deskriptiv wiesen Frauen zu diesem Zeitpunkt einen kleineren Beck-Index und somit einen schlechteren Wert als präoperativ, Männer hingegen bessere Mittelwerte als vor Operation auf.

4 Diskussion

Klinische und radiologische Ergebnisse nach operativer Stabilisierung traumatischer Wirbelkörperfrakturen liegen zu den verschiedensten operativen Verfahren in der Literatur vor. Einigkeit besteht in der Indikationsstellung zur Operation bei instabilen Wirbelkörperfrakturen [4, 10, 51, 74, 86]. Kontrovers werden allerdings die Indikationen bzw. Vor- und Nachteile der verschiedenen Operationstechniken (rein dorsale, ventrale und dorsoventrale Stabilisierung) diskutiert [42, 68], unter anderem da Langzeitergebnisse der verschiedenen Behandlungsmethoden noch nicht umfassend vorliegen [72, 74]. Dies war der Anlass Patienten mit traumatischer Wirbelkörperfraktur, die im Zeitraum von 1991 bis 2001 mit einer dorsal instrumentierten Stabilisierung in der Klinik für Orthopädie der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg versorgt wurden, im Rahmen dieser Arbeit bezüglich des Langzeitverlaufes der radiologischen und klinischen Parameter zu untersuchen.

Eingeschlossen wurden 24 Patienten zu denen Parameter zu vier verschiedenen Untersuchungszeitpunkten (präoperativ, postoperativ, erste und zweite Nachuntersuchung) vorlagen. Es konnten Ergebnisse über einen zeitlichen Verlauf von durchschnittlich länger als 10 Jahren ($129,5 \pm 30,4$ Monate) erhoben werden. Die Einteilung der allgemeinen und klinischen Parameter fand in Anlehnung an die Multicenterstudie II der Arbeitsgemeinschaft Wirbelsäule der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie [70] statt. Diese Studie stellt eine bedeutende, repräsentative Zusammenstellung der Behandlungskonzepte und -ergebnisse für traumatische Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule für 865 Patienten aus acht Kliniken in Deutschland und Österreich dar. Verglichen wurden in der MCS II die Ergebnisse nach operativer Stabilisierung von dorsal, ventral und der Kombination der Zugangswege mit denen der konservativen Therapie und der Gruppe Vertebro- bzw. Kyphoplastie.

Ein wissenschaftlicher Konsens bezüglich der Indikationsstellung für die verschiedenen Operationsverfahren hinsichtlich Frakturart und -lokalisierung existiert aktuell nicht [32]. Allgemeines Ziel sind die Reposition der Fehlstellung mit sicherer Retention und die Dekompression des Spinalkanals [62]. Die offene dorsale Instrumentierung mit winkelstabilem Fixateur interne stellt die primär verwendete Technik dar [58]. Sie zeigt im Vergleich zu den anderen Operationstechniken kürzere Operationszeiten, einen geringeren intraoperativen Blutverlust und eine bessere Kosteneffektivität [6, 24, 66]. Aufgrund des in vielen Studien [2, 30, 32, 50, 72] erwähnten Korrekturverlustes nach Operation gerät sie allerdings mehr und mehr in Kritik. Das kombinierte dorsoventrale Vorgehen bei instabilen Wirbelkörperfrakturen wird zunehmend favorisiert und von Ezzati et al. [32] sogar als "Goldstandard" bezeichnet. Verschiedene Studien

bestätigten der kombinierten Operationstechnik einen besseren Erhalt des sagittalen Wirbelsäulenprofils nach Operation [6, 15, 50, 66, 72]. Im Vergleich zum rein dorsalen Verfahren sind allerdings die Morbidität [2, 87] und die Komplikationsrate [52, 66, 71, 76, 79] auch deutlich höher.

Die isoliert ventrale Stabilisierung zeigte im Rahmen der MCS I und MCS II schlechtere radiologische Ergebnisse als das kombinierte Verfahren [50, 72]. Knop und Blauth [48] kritisierten beim rein ventralen Vorgehen die eingeschränkte Reposition und unzureichende biomechanische Stabilität.

Aus diesen verschiedenen radiologischen Resultaten lassen sich die klinischen Ergebnisse allerdings nicht ableiten. Knop et al. [50] fanden in der MCS I trotz unterschiedlicher röntgenologischer Untersuchungsergebnisse für alle Operationsmethoden gleichwertige klinisch-funktionelle Werte. In der MCS II stellten sich trotz schlechterer röntgenologischer Parameter bessere klinisch-funktionelle Resultate für die isolierte dorsale Stabilisierung dar [72]. Viele Autoren stützen diese Ergebnisse, da auch sie keinen Zusammenhang zwischen Radiologie und Klinik verzeichnen konnten [2, 12, 14, 25, 49]. Been und Bouma [6] sowie Briem et al. [16] fanden keine Korrelation zwischen den röntgenologischen Parametern und den körperlichen Schmerzen nach operativer Stabilisierung und widersprachen damit den Ergebnissen von Gertzbein [35], die einen Zusammenhang zwischen dem Kyphosewinkel und der Schmerzentstehung sahen. Es bleibt also fraglich inwieweit die Therapieentscheidung anhand des radiologischen Befundes erfolgen sollte.

In den letzten Jahren haben die minimal-invasiven Operationsverfahren zunehmend an Bedeutung gewonnen [32, 58, 68]. Bei der perkutanen dorsalen Stabilisierung sehen Befürworter den Vorteil der deutlich geringeren Gewebeschädigung bei der Behandlung von Wirbelkörperfrakturen. Im Vergleich zum offenen Verfahren kann weitestgehend auf die Ablösung der paravertebralen Rückenmuskulatur verzichtet und somit die Narbenbildung reduziert werden, was mit einer Minimierung von Funktionseinschränkungen verbunden sein kann [32, 68, 79]. Grass et al. [36] konnten 2006 mittels EMG-Untersuchung nach perkutan-dorsaler Instrumentierung normale physiologische Aktivitäten an den Motoneuronen der autochthonen Rückenmuskulatur und somit keinerlei Muskelschädigung, im Vergleich zu pathologischen EMG-Signalen, "als Zeichen des Ausfalls zahlreicher motorischer Einheiten" nach offener Stabilisierung, nachweisen.

Weitere Vorteile der minimal-invasiven Operationsverfahren sind die Reduktion des intraoperativen Blutverlustes und der Operationsdauer [90], verbunden mit einer reduzierten postoperativen Morbidität [36, 38, 58]. Nachteilig sind allerdings das

begrenzte Repositionsvermögen [68] und die unzureichende langfristige Stabilisierung der Frakturkorrektur zu bewerten [38, 58].

Ob die minimal-invasive Intervention allerdings langfristig im Vergleich zur konventionellen offenen Wirbelsäulen Chirurgie das Outcome verbessern kann, ist fraglich, da auch hier Langzeitergebnisse fehlen [13].

4.1 Methodik und Limitationen

Zur Darstellung des klinischen Behandlungserfolgs bei Patienten nach dorsaler Stabilisierung wurden subjektive Angaben mit Hilfe des Hannover-Wirbelsäulen-Scores und verschiedene objektive Daten mittels Fußboden-Finger-Abstandsmessungen und Schober-Test als Bewegungsmaße sowie mit Hilfe der Frankel-/ASIA-Klassifikation für den neurologischen Befund erhoben.

Der Hannover-Wirbelsäulen-Score [9] stellte zum Zeitraum der ersten Nachuntersuchungsperiode (1993 bis 2001) einen Standardfragebogen zur Erhebung des klinischen Outcomes nach Wirbelsäulenverletzungen dar. Er wurde im Rahmen der prospektiven Multicenterstudie I der Arbeitsgemeinschaft "Wirbelsäule" der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie [50, 51] angewandt und auch zur Erhebung von "Spätergebnissen" von Knop et al. [49], Andress et al. [2] und Resch et al. [74] verwendet. Wälchi et al. benutzten 2001 [87] den Hannover-Wirbelsäulen-Score zur Bewertung der Behandlungsergebnisse nach Berstungsfrakturen im thorakolumbalen Übergang. Zur vergleichbaren Darstellung der klinischen Nachuntersuchungsergebnisse in der vorliegenden Arbeit erfolgte auch zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt die Erhebung des klinischen Outcomes mittels Hannover-Wirbelsäulen-Score. Allerdings ist bis heute keine Literatur zur Validierung des Fragebogens an standardisierten Kollektiven zu finden. Somit muss der Hannover-Wirbelsäulen-Score als "formal" nicht validiert betrachtet werden [50]. Die erhobenen Ergebnisse können somit nur als Anhalt für die Entwicklung des klinischen Outcomes nach dorsaler Stabilisierung gesehen werden [49]. Nach 2001 fanden zunehmend validierte Fragebögen wie der VAS-Wirbelsäulenscore, dessen Grundlage der Bewertungsmaßstab des Hannover-Wirbelsäulen-Score war [53] und der SF-36-Fragebogen [14, 15, 57, 81] Anwendung. Kara-Lodos [44] stellte im Rahmen einer Untersuchung zur "Lebensqualität der Patienten nach operativer Versorgung von Wirbelkörperfrakturen im thorakolumbalen Übergang" eine positive Korrelation

zwischen den Kategorien "körperliche Funktion" und "Schmerz" des validierten SF-36 und dem Hannover-Wirbelsäulen-Score fest.

Der Fußboden-Finger-Abstand diente neben dem Schober-Maß als Instrument zur Quantifizierung des Bewegungsausmaßes der Wirbelsäule. Beide Messungen zeigten in mehreren Studien gute bis sehr gute Inter- und Intratestreliabilitäten [34] und können daher als hervorragende Instrumente zur Beurteilung der Wirbelsäulenbeweglichkeit angesehen werden [41]. Allerdings sollte die Bewertung der Bewegungsmaße nach Erhebung des FFA kritisch erfolgen, da keine verbindlichen Normalwerte und exakten Beugungswinkel zu den jeweiligen Wirbelsäulenabschnitten existieren [73].

Wie in den Multicenterstudien I und II der Arbeitsgemeinschaft "Wirbelsäule" der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie [51, 70], wurde die modifizierte Frankel-Klassifikation zur Verlaufsbeurteilung der neurologischen Defizite angewandt. Sie stellt eine häufig verwendete und anerkannte Klassifikation dar [25, 35, 45, 49, 74].

Zur Beurteilung der anatomischen Veränderungen des traumatisierten Wirbelsäulenabschnittes über die vier Untersuchungszeitpunkte erfolgte eine manuelle Ausmessung der radiologischen Parameter Körperwinkel, Beck-Index und mono- bzw. bisegmentaler Grund-Deckplatten-Winkel. Kuklo et al. [55] fanden für den bisegmentalen Grund-Deckplatten-Winkel hohe Intra- und Interobserverreliabilitäten. Keynan et al. [46] schätzten den monosegmentalen GDW als guten Parameter zur Bewertung des Operationserfolges ein. Die vier radiologischen Größen dienten in vielen Studien als Instrument zur Beurteilung der röntgenologischen Veränderungen [8, 50, 60, 72, 74]. Daher können sie als allgemein verwendet angesehen werden.

Zur Vergleichbarkeit der radiologischen Größen erfolgte zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt die Ermittlung der Winkel- und Indexwerte manuell, da auch die Messungen zum prä-, postoperativen und ersten Nachuntersuchungszeitpunkt per Hand durchgeführt worden waren. Ein individueller Messfehler lässt sich vermuten, da die Unfallaufnahmen im Liegen, die weiteren Röntgenaufnahmen nach Operation allerdings regulär im Stehen erfolgten. Da dies allerdings bei allen Patienten gleich gehandhabt wurde, lassen sich die Ergebnisse vergleichen und verwenden [74].

Die röntgenologischen Parameter wurden zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten von Mahlfeld und Strupeit-Döbbelin ausgemessen. Daher erfolgte vor der statistischen Auswertung der Ergebnisse zunächst eine Reliabilitätsanalyse der beiden Untersucher (siehe Abschnitt 3.1). Da mit dieser Analyse gute bis exzellente Übereinstimmungen zwischen den Untersuchern

nachgewiesen werden konnten, war es möglich, die zu den verschiedenen Zeitpunkten gemessenen Parameter im Rahmen dieser Arbeit zu verwenden und miteinander zu vergleichen.

Die vorliegende Arbeit wurde als retrospektive Studie ohne Aufstellung einer Kontrollgruppe angelegt. Die Nachuntersuchungszeitpunkte waren zu Beginn der Studie nicht festgelegt. Sie ergaben sich aus den klinischen Wiedervorstellungen der Patienten und aus dem Beginn der Promotionsarbeit von Strupeit-Döbbelin. Dadurch entstanden bei den Nachuntersuchungen große Zeitspannen zwischen der Erhebung der einzelnen Ergebnisse. Diese Tatsache könnte die Vergleichbarkeit der Nachuntersuchungszeitpunkte einschränken. Ein weiterer Nachteil des Studiendesigns ist das Fehlen einer Kontrollgruppe zum Vergleich der klinischen und radiologischen Ergebnisse zur Normalpopulation.

Die Gesamtanzahl des Patientenkollektivs von N=24 stellt eine kleine Probengröße dar, kann allerdings als ausreichend angesehen werden. Die Ergebnisse der geschlechtsspezifischen Betrachtung bei einem Verhältnis Männer zu Frauen von 20:4 sind kritisch zu bewerten. Zudem wurden andere Parameter wie z. B. der Zeitpunkt der Materialentfernung in den Analysen zum Geschlechtsunterschied nicht betrachtet, sodass ein Einfluss dieser Parameter auf die statistischen Ergebnisse nicht auszuschließen ist.

4.2 Epidemiologie

Die Geschlechtsverteilung in dieser Arbeit (16,7% Frauen und 83,3% Männer) zeigte einen höheren Anteil der Männer im Patientenkollektiv und steht damit im Einklang mit der Literatur. Allerdings war der Männeranteil hier ausgeprägter als in den Ergebnissen von Maier et al. [62] (60 % Männer), Reinhold et al. [70] (Frauen : Männer 1:1,9), Josten et al. [42] ("bis zu 70%" Männer) Knop et al. [51] (63,9% Männer), Katscher et al. [45] (68,5% Männer) und Bühren et al. 2003 [18] ($\frac{2}{3}$ Männeranteil). In der vorliegenden Arbeit lag das Alter der Patienten zum Unfallzeitpunkt im Mittel bei 43 Jahren (19 - 72 Jahre). Eine Häufung von traumatischen Wirbelkörperfrakturen um das 40. Lebensjahr zeigten Untersuchungen von Knop et al. [51] (39,5 Jahre), Reinhold et al. [70] (41 Jahre), Bertram et al. [8] (41 Jahre) und Katscher et al. [45] (37,8 Jahre). Dagegen beschrieben Maier et al. [62], Josten et al. [42] und Bühren [18] einen Altersgipfel zum Unfallzeitpunkt zwischen 20 und 40 Jahren. Diese Ergebnisse

bestätigten auch Knop et al. [49] (34 Jahre) und Resch et al. [74] (34,3 Jahre), deren Untersuchungen einen Altersdurchschnitt von 34 Jahren zeigten. Eggers und Stahlenbrecher sahen traumatische Wirbelkörperfrakturen gehäuft zwischen dem 20. und 50. Lebensjahr auftreten [29].

Wie in der Multicenterstudie II der Arbeitsgemeinschaft Wirbelsäule [70] (Sturz 34,8% und VKU 27,1% in der Gruppe OP) war in der vorliegenden Arbeit der "Sturz aus der Höhe" die Hauptunfallursache (54,2%), gefolgt von Verkehrsunfällen mit PKW (29,2%). Diese Ergebnisse stützen auch Untersuchungen von Knop et al. 1997 [49] (Sturz aus der Höhe 52%, VKU 27%), Knop et al. 1999 in der MCS I [51] (50,4% Sturz aus der Höhe, VKU 22,1%), Katscher et al. [45] (Sturz aus der Höhe 50,9%, VKU 25,9%) und Bertram et al. [8] (Sturz aus der Höhe 38%, VKU 28%).

Typischerweise waren in der vorliegenden Arbeit die Frakturen am häufigsten im Bereich des thorakolumbalen Übergangs lokalisiert (79,2%). Am meisten war der Lendenwirbelkörper 1 betroffen. Dies stimmt mit den Angaben der Literatur zu traumatischen Wirbelkörperfrakturen überein [30, 51, 62, 64, 70].

Die Häufung von Frakturen im thorakolumbalen Übergang der Wirbelsäule lässt sich aus der physiologischen Instabilität im Übergang zwischen dem starren, durch die Rippen gestützten Brustkorb und der flexiblen, "freistehenden" Lendenwirbelsäule erklären [62]. Gerade im Zusammenhang mit Hochrasanztraumata treten in diesem Bereich die größten Krafteinwirkungen auf [47].

Präoperativ war der neurologische Befund beim größten Anteil der Patienten (95,8%) ohne Pathologie (Frankel-/ASIA-Klassifikationsstufe E) und damit ähnlich den Ergebnissen von Knop et al. [49]. Damit zeigten sich in diesen Patientenkollektiven bessere präoperative neurologische Parameter als bei Reinhold et al. [70] (77% Frankel/ASIA E).

Der Operationszeitpunkt lag bei 45,8% der Patienten zwischen dem ersten und sechsten Tag nach Unfallgeschehen. Der Mittelwert des Operationszeitpunktes nach Unfall betrug 8 Tage. Dieses Ergebnis lässt sich durch die Verlegung der Patienten in die Klinik für Orthopädie der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg nach Primärtherapie in anderen Krankenhäusern erklären. Die Literaturrecherche bezüglich des Operationszeitpunktes führte zu ähnlichen Ergebnissen bei Knop et al. [49] (Mittelwert 6 Tage). Reinhold et al. [71] konnten in der Subgruppe Operation einen Median von 2 Tagen vom Unfalltag bis zur ersten Operation feststellen. Bühren und Josten [19] empfahlen bei Verletzungen mit "wesentlicher Instabilität" und neurologischer Symptomatik eine operative Dekompression und Stabilisierung

innerhalb von 24 bis 48 Stunden nach Trauma. Wesentliche Fehlstellungen mit "minderer Instabilität" sollten nach 4 bis 7 Tagen versorgt werden.

Zusammenfassend kann das Patientenkollektiv als repräsentativ angesehen werden, da es eine vergleichbare Verteilung von Alter, Geschlecht, Unfallursache und Frakturlokalisierung wie in der Literatur aufweist.

4.3 Klinische Ergebnisse und sozioökonomische Bedeutung

4.3.1 Neurologischer Befund

Der größte Anteil des analysierten Patientengutes (95,8%) zeigte zur Aufnahme keine neurologische Beeinträchtigung. Diese Ergebnisse konnten auch im postoperativen Verlauf bestätigt werden. Ein Patient verbesserte sich von der Frankel-/ASIA-Klassifikationsstufe C zum Aufnahmezeitpunkt zur Stufe D zum Nachuntersuchungszeitpunkt. Ähnlich niedrige Raten an neurologischen Symptomen nach dorsaler Stabilisierung zeigte auch die Arbeit von Klawunde [47]. Er dokumentierte in seiner Arbeit bei 92% neurologisch unauffällige Untersuchungsergebnisse. Knop et al. 1997 [49] erklärten den mit 7,1% niedrigen Anteil von neurologischen Begleitverletzungen bei der rein dorsalen Stabilisierung damit, dass Patienten mit neurologischem Defizit mehrheitlich mittels ventraler Operationstechnik versorgt wurden und somit bei den Erhebungen der dorsalen Stabilisierung nicht enthalten waren. Liljenquist und Mommsen [60] berichteten 1995 von einem häufigeren Auftreten (16,7%) neurologischer Ausfälle nach dorsaler Operation, wobei 5 von 8 Patienten mit neurologischen Defiziten in ihrer Untersuchung durch die Operation eine Verbesserung in der Frankel-Klassifikation um mindestens eine Stufe erreichten. Die Multicenterstudie II von Reinhold et al. [71] zeigte nach dorsaler Behandlung Besserungsraten von 59,6% der Patienten bezüglich der neurologischen Symptomatik, wobei das kombinierte Operationsverfahren in der Untersuchung ähnliche Besserungsraten erzielte (61,3% neurologische Verbesserung). In der Multicenter Studie der Scoliosis Research Society wurden allerdings 1992 nach ventraler Operationstechnik weniger neurologische Beeinträchtigungen unter Berücksichtigung der Manabe-Einteilung erfasst als bei rein dorsal versorgten Patienten [35]. Dies widerspricht den Ergebnissen von Verlaan et al. [86], die nach

dorsaler oder ventraler operativer Therapie keine Unterschiede bezüglich der neurologischen Entwicklung aufwiesen.

Diese Ergebnisse verdeutlichen den uneinheitlichen Forschungsstand bezüglich der Besserung der neurologischen Defizite nach dorsaler, ventraler oder kombinierter operativer Versorgung. Allerdings lässt sich erkennen, dass trotz instabiler Wirbelkörperfraktur und teilweise bestehenden Einengungen im Spinalkanal neurologische Ausfälle verhältnismäßig selten auftraten. Diese Aussage wird auch durch die Studie von Katscher et al. [45] gestärkt, da dort keine direkte Korrelation zwischen der Einengung des Spinalkanals und der neurologischen Ausfallssymptomatik gefunden wurde. Widersprüchlich dazu sahen Gertzbein [35] ein schwaches und Knop et al. in der MCS I [52] bzw. Reinhold et al. [71] in der MCS II ein signifikant höheres relatives Risiko für das Auftreten neurologischer Ausfälle bei ausgeprägten Spinalkanaleinengungen. McLain et al. [63] plädierten an Hand der Ergebnisse einer prospektiven Studie von segmental instrumentierten Wirbelkörperfrakturen für eine frühzeitige Entlastung des Spinalkanals und empfahlen bei persistierender Einengung des Rückenmarks die ventrale Dekompression. Auch Josten et al. [42] bewerteten die ventral instrumentierte Stabilisierung, hier endoskopisch betrachtet, als Methode mit exzellenter Möglichkeit der Spinalkanal-Clearance unter kalkulierbarem Risiko. Allerdings sahen sie keine Notwendigkeit der vollständigen Spinalkanal-Clearance bei neurologisch unauffälligen Patienten, da das Remodelling - ein innerer Umbauprozess des Spinalkanals durch Resorption der dislozierten Fragmente [65] - eine spontane Erweiterung des Spinalkanals im Verlauf verursacht. Boerger et al. [11] bewerteten nach einer umfangreichen Literaturrecherche die operative Therapie mit Dekompression des Spinalkanals bei Berstungsfrakturen nur zur alleinigen Verbesserung der neurologischen Defizite nicht als gerechtfertigt. Auch Nehrdich [65] schätzte die alleinige indirekte Dekompression des Spinalkanals bei den überwiegenden Wirbelkörperfrakturen ohne neurologische Ausfälle als ausreichend ein. Er sah neben dem biologischen Remodelling auch die Ligamentotaxis - eine Reposition der Bruchfragmente durch Distraction des Bandapparates durch lordosierte Lagerung - als signifikant wirksamen Mechanismus an. Diese Ergebnisse stützen die Untersuchungen von Dai [22]. Er fand keinen signifikanten Unterschied zwischen einer unbehandelten, einer konservativen und einer von dorsal operierten Patientengruppe bezüglich des Remodellings des Spinalkanals.

4.3.2 Funktionsparameter

Zur Objektivierbarkeit des Bewegungsausmaßes dienten die Bestimmung des Fußboden-Finger-Abstands und der Schober-Test. Durchschnittlich erreichten die

Patienten einen FFA von 18,1 cm. Das Schober-Maß betrug im Mittel 10:14,2 cm und war daher mit Erhebungen an gesunden Probanden vergleichbar [41, 77]. Junge et al. [43] fanden nach monosegmentaler Instrumentierung und Fusion ähnliche Ergebnisse beim Schober-Test (10:13,9 cm) und deutlich bessere Resultate im Mittel von 11,6 cm beim FFA. Diese Werte wurden von Knop et al. [49] in Analysen nach dorsaler Instrumentierung annähernd bestätigt. Reinhold et al. [73] sahen in Langzeituntersuchungen nach funktionell konservativer Therapie im Mittel einen FFA von 12 cm. Schnake et al. [76] ermittelten nach dorsoventraler Stabilisierung einen FFA von durchschnittlich 14 cm nach 60 Monaten. Ähnliche Ergebnisse bestimmten Briem et al. [16] nach 2 Jahren nach kombinierter Versorgung (15 cm). Sie fanden im Vergleich zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit hinsichtlich des Schober-Maßes geringfügig schlechtere Ergebnisse (durchschnittlich 10:12 cm).

Wie in der vorliegenden Arbeit erhoben Knop et al. [50] in der MCS I ähnliche Werte zum FFA (durchschnittlich 17 cm). Allerdings wies die MCS I einen deutlich kürzeren Nachuntersuchungszeitraum von 2¼ Jahren auf. Unabhängig vom Operationsverfahren (ventral, dorsal oder kombiniert) fanden sie gleiche Bewegungsumfänge beim FFA und Schober-Test.

Zusammenfassend lieferte die vorliegende Untersuchung im Vergleich zur Literatur schlechtere Ergebnisse zum FFA unabhängig vom Behandlungskonzept. Allerdings wurden diese Werte auch zu einem deutlich späteren Untersuchungszeitraum (im Mittel nach 129,5 Monaten) erhoben. Knop et al. [50] konnten eine signifikante Korrelation zwischen den Ergebnissen des FFA und der subjektiven Einschätzung der Rückenbeweglichkeit durch die Patienten sowie dem klinischen Nachuntersuchungsscore nachweisen. Hinsichtlich der vorgenannten Ergebnisse ist es fraglich, ob dieser Zusammenhang auch bei der vorliegenden Arbeit bzw. bei Langzeitverläufen anzunehmen ist.

4.3.3 Nachuntersuchungsscore

Zum ersten Nachuntersuchungszeitpunkt nach durchschnittlich 21,2 Monaten erreichte das vorliegende Patientenkollektiv im Mittel 75,3 Punkte des Hannover-Wirbelsäulen-Scores. Im Langzeitverlauf zur zweiten Nachuntersuchung (im Mittel nach 129,5 Monaten) besserten sich die Mobilität und die Beschwerden der Patienten und somit der Score auf durchschnittlich 81,3 von 100 Punkten. Andress et al. [2] fanden nach durchschnittlich 68 Monaten nach posteriorer Fixation ähnliche Ergebnisse bei der Fragebogenauswertung (im Mittel 81,7 Punkte). Wild et al. [90] veröffentlichten 2006 5-Jahres-Nachuntersuchungsergebnisse nach konventionell dorsaler Spondylodese

mit durchschnittlich 78 Punkten im Hannover-Wirbelsäulen-Score. Höhere Scorewerte nach durchschnittlich 57 Monaten Nachuntersuchungszeit sahen Resch et al. [74] (86,5 Punkte). Sowohl Knop et al. 1997 [49] und 2001 [50] als auch Wälchli et al. [87] fanden zu frühen Nachuntersuchungszeitpunkten niedrigere Werte für den Hannover-Wirbelsäulen-Score nach dorsaler Stabilisierung (Scorewerte von durchschnittlich 68,4 bis 71,4 Punkten).

Im Rahmen der MCS I [50] wurde, wie in der vorliegenden Arbeit, eine Zunahme der Scorewerte im Verlauf der Nachuntersuchungen verzeichnet. Weiterhin zeigte ein Vergleich der Behandlungsgruppen (dorsaler, kombinierter und ventraler Zugang) signifikant bessere klinische Ergebnisse gemessen am Hannover-Wirbelsäulen-Score für die rein dorsal operierten Patienten. Wurden allerdings bei dorsaler und kombinierter Operation gesondert nur die Patienten ohne neurologische Beeinträchtigung betrachtet, fand sich kein signifikanter Unterschied im Nachuntersuchungsscore.

Reinhold et al. [72] werteten im Rahmen der MCS II das Freizeitverhalten nach Operation aus und konnten im Verlauf der Nachuntersuchungen eine Zunahme des Aktivitätsniveaus, vermutlich durch Besserung der Rückenfunktion, nachweisen. Zusätzlich verglichen sie zwischen den Subgruppen dorsaler und kombinierter Operation das Chancenverhältnis in das frühere Freizeitaktivitätsniveau zurückkehren zu können und fanden ein größere Wahrscheinlichkeit diesbezüglich für die rein dorsal Operierten. Dies bestätigte sich auch in der Zufriedenheit der Patienten mit ihrem Freizeitverhalten, da auch diese Ergebnisse zu Gunsten der rein dorsal stabilisierten Patienten ausfielen.

Briem et al. [15] sahen keinen Unterschied in der Lebensqualität, gemessen am SF-36, zwischen von dorsal und dorsoventral instrumentierten Patienten im postoperativen Verlauf. Sie definierten die Verletzungsschwere bzw. -art des Traumas als bestimmenden Faktor für die Lebensqualität der Patienten nach Operation.

Patienten ohne neurologisches Defizit zeigten in der MCS I [50] und MCS II [72] signifikant bessere Ergebnisse im klinischen Untersuchungsscore. Dieses Resultat könnte auch die durchschnittlich hohen Scorewerte der vorliegenden Untersuchung erklären, da 95,8% der Patienten neurologisch unauffällig waren.

Insgesamt zeigte die Literaturrecherche bei Patienten mit Wirbelkörperfraktur nach Trauma deutlich schlechtere Ergebnisse bezüglich Funktionalität und Beschwerden im Vergleich zum Zeitpunkt vor dem Trauma und zu gesunden Probanden [2, 14, 15, 50, 73]. Im Nachuntersuchungsverlauf konnten allerdings viele Untersuchungen

überwiegend gute bis sehr gute Ergebnisse bezüglich der Zufriedenheit der Patienten und der Beschwerdereduktion nach operativer Versorgung feststellen [17, 59, 63, 72, 74]. Welches Operationsverfahren die größte Chance zur Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit und sozialen Reintegration bietet, wird in der Literatur aber weiterhin diskutiert. Studien mit besseren klinischen Ergebnissen nach dorsaler Stabilisierung [50, 72] stehen Untersuchungen, die keine Unterschiede bezüglich des Outcomes nach dorsalem oder kombiniertem Zugangsweg fanden [6, 8, 14, 15, 66], gegenüber.

4.3.4 Berufsstatus

66,7% des vorliegenden Patientenkollektivs konnten nach Rehabilitation im gleichen Beruf wie vor dem Unfall reintegriert werden, davon ein Patient mit Einschränkungen (siehe Abschnitt 3.3.4).

Im Literaturvergleich zeigten Briem et al. [16], McLain et al. [63] und Wild et al. [90] ähnliche Ergebnisse bezüglich der Reintegration in den alten Beruf (ohne oder mit leichten Einschränkungen) nach operativer Versorgung traumatischer Wirbelkörperfrakturen. Ein Reviewartikel von Verlaan et al. [86] dokumentierte je nach Operationstechnik Rückkehraten in den alten Beruf (mit maximal leichten Einschränkungen) von 54 - 84%. Demgegenüber stehen die Ergebnisse von Reinhold et al. [72] und Briem et al. [14]. Sie fanden unabhängig von den Operationsverfahren bzw. Behandlungsarten gleiche Wiedereingliederungsraten in den ursprünglich ausgeübten Beruf, wobei Reinhold et al. [72] eine Korrelation zwischen den neurologischen Begleitverletzungen und der Wiedereingliederung in das Berufsleben sahen.

Im Vergleich zu den Resultaten der vorliegenden Arbeit konnten Andress et al. [2], Defino und Canto [25], Knop et al. [49] und Reinhold et al. [72] nur Reintegrationsraten bis zu 50% verzeichnen. Höhere Rückkehraten in die alte Tätigkeit (13 von 18 untersuchten Patienten) dokumentierten Leferink et al. [57] nach dorsaler Instrumentierung, wobei allerdings 7 der 13 Patienten Einschränkungen in der beruflichen Ausübung hatten.

Die berufliche Reintegration hat neben der hohen Bedeutung für den Patienten vor allem großen Einfluss auf die Kosten für die Gesellschaft und die Versicherungsträger des Gesundheitssystems. Daher muss der optimalen Behandlung von Wirbelkörperfrakturen zur Wiedererlangung der Rückenfunktion höchste Priorität beigemessen werden, weshalb Untersuchungen wie die Vorliegende zur Verifizierung der Operationsverfahren wichtig sind.

4.4 Radiologische Ergebnisse

Zur Darstellung des röntgenologischen Ausmaßes des Wirbelsäulentraumas, der operativen Reposition und des postoperativen Korrekturverlustes dienten verschiedene radiologische Parameter im seitlichen Strahlengang (siehe Abschnitt 2.5).

Der Wirbelkörperwinkel Alpha und der Beck-Index beschreiben die Verformung der vorderen Säule. Die Winkel Beta und Gamma lassen Aussagen über das Profil des betroffenen Wirbelsäulenabschnittes und die Zwischenwirbelräume zu und können als Parameter zur Ermittlung des Korrekturverlustes herangezogen werden [30]. Dabei bezeichnet der Korrekturverlust die Veränderung der Wirbelsäulenstatik im postoperativen Verlauf durch eine erneute Kyphosierung und somit Verminderung des ursprünglich durch die Operation erzielten Repositionsgewinns im traumatisierten Wirbelsäulenbereich [47]. Der Korrekturverlust stellt somit ein Maß für die Stabilität des Repositionsgewinns dar.

4.4.1 Wirbelkörperwinkel und Beck-Index

Beim analysierten Patientengut konnte der deformierte Wirbelkörper durch die Operation aufgerichtet und der Winkel Alpha signifikant verkleinert (Differenz der Mittelwerte prä- zu postoperativ $11,1^\circ$) werden. Dies spiegelt sich auch in der signifikanten Verbesserung des Beck-Index zum postoperativen Zeitpunkt wieder. Dieser Korrekturgewinn konnte bis zum ersten Nachuntersuchungszeitpunkt (im Mittel nach 21,2 Monaten) gehalten werden. Zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt fand sowohl beim Körperwinkel als auch Beck-Index wieder eine signifikante Verschlechterung statt, sodass die Parameter numerisch fast den präoperativen Messergebnissen entsprachen und kein signifikanter Unterschied zwischen den präoperativen Ergebnissen und denen der zweiten Nachuntersuchung festzustellen war.

Die Angaben in der Literatur bezüglich der Körperwinkelreposition durch die rein dorsale Operation schwanken zwischen 6° und 12° [8, 47, 49, 50, 74]. Das Repositionsergebnis im Rahmen dieser Untersuchung lag somit im Bereich der höchsten, in der Literatur genannten Werte. Einschränkend ist zu erwähnen, dass in dieser Arbeit auf eine Untergliederung in die verschiedenen Frakturtypen verzichtet wurde, wobei nach Klawunde [47] allerdings ein deutlicher Zusammenhang zwischen Repositionsgewinn und Verletzungsgrad des Wirbels besteht.

Knop et al. [50] sahen im postoperativen Verlauf beim Körperwinkel und Beck-Index nach anfänglichen Korrekturverlusten eine Stabilisierung der postoperativen

radiologischen Ergebnisse. Sie sprachen in der MCS I [50] von einem signifikanten Korrekturverlust vor allem im ersten Jahr nach dorsaler Stabilisierung von 32 % ($2,8^\circ$ des Winkels Alpha bis zur NU) und anschließender nahezu konstanter Radiometrie des Beck-Index und Körperwinkels. In einer Studie von Knop et al. [49] traten 6 Monate nach dorsaler Instrumentierung keine signifikanten Änderungen dieser Parameter mehr auf. Andress et al. [2] veröffentlichten 2002 bessere Ergebnisse. Sie fanden zum Nachuntersuchungszeitpunkt (Mittelwert 68 Monate) eine geringe aber nicht signifikante Verschlechterung des Beck-Index zu den postoperativen Werten. Auch Liljenqvist und Mommsen [59] konnten 34 Monate nach Operation weitestgehend stabile Werte für den Körperwinkel erheben. Die Resultate von Briem et al. [15] widersprachen den vorherigen. Sie berichteten von signifikanten Verschlechterungen des Beck-Index nach 2 Jahren nach Operation. Bertram et al. [8] (NU nach durchschnittlich 6,7 Jahren) und Resch et al. [74] (NU im Mittel nach 57 Monaten) stützen diese Ergebnisse mit Repositionsverlusten von 48% bzw. 45% im Körperwinkel nach rein dorsaler Stabilisierung.

Eine Erklärung der unterschiedlichen Ergebnisse in der Literatur könnte über den Zeitverlauf erfolgen. Auch in dieser Arbeit zeigten sich im frühen postoperativen Verlauf (bis zur ersten Nachuntersuchung) wie bei Knop et al. [50] keine bis minimale Veränderungen der ventralen Säule. Erst im Verlauf nach der ersten Nachuntersuchung verschlechterten sich die radiologischen Parameter Alpha und Beck-Index wieder, sodass wie bei Resch et al. [74] und Bertram et al. [8] zu späteren Untersuchungszeitpunkten deutlichere Korrekturverluste zu verzeichnen waren.

Ein Literaturvergleich der Repositionsgewinne und Korrekturverluste der ventralen Säule nach rein dorsaler bzw. dorsoventraler Stabilisierung zeigte überwiegend Vorteile für das kombinierte Verfahren. So fanden Briem et al. [15] signifikant schlechtere Ergebnisse beim Beck-Index nach dorsaler Instrumentierung. Die MCS I [50] verzeichnete bei beiden Operationsverfahren zur Nachuntersuchung Korrekturgewinne, wobei diese allerdings beim kombinierten Vorgehen signifikant höher waren. Bertram et al. [8] erhoben in einem Vergleich von dorsolateralen und -ventralen Spondylodesen deutlich geringere Repositionsverluste (48% versus 10,1%) nach kombinierter Instrumentierung. Dagegen sahen Opriel et al. [66] zwar zunächst größere Kyphosekorrekturen beim dorsoventralen Vorgehen, im Verlauf zeigten sich aber in ihrer Studie keine Unterschiede im Korrekturverlust zwischen den Operationsarten.

4.4.2 Mono- und bisegmentaler Grund-Deckplatten-Winkel

Bei dem in der vorliegenden Arbeit untersuchten Patientengut wurde die Kyphosestellung (mono- und bisegmentaler GDW) durch die Operation signifikant verringert. Zum postoperativen Zeitpunkt konnte im Mittel eine Reposition des Gamma-Winkels um $8,5^\circ$ und des Beta-Winkels um $9,1^\circ$ (Differenz präoperativ - postoperativ) verzeichnet werden. In der Literatur lassen sich Korrekturgewinne für den bisegmentalen GDW von $18,6^\circ$ bis $7,7^\circ$ [8, 49, 59, 74, 92] nach dorsaler Stabilisierung und von $13,1^\circ$ bis $5,4^\circ$ [8, 16, 76] nach dorsoventraler Operationstechnik finden. Somit liegen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit im unteren Drittel der Repositionsgewinne. Die MCS I [50] fand nach kombinierter Stabilisierung im Vergleich zur dorsalen Instrumentierung signifikant stärkere Korrekturen. Die MCS II [71] konnte keinen Unterschied des Korrekturgewinnes zwischen den verschiedenen Operationsarten verzeichnen. Dort ergaben sich je nach Wirbelsäulenabschnitt unterschiedliche Repositionswerte, wobei der größte mit durchschnittlich $9,3^\circ$ im thorakolumbalen Übergang erzielt wurde [71].

In der vorliegenden Untersuchung konnte der Korrekturgewinn beim monosegmentalen GDW bis zur ersten Nachuntersuchung fast vollständig gehalten werden. Der bisegmentale GDW zeigte dagegen zu diesem Zeitpunkt schon signifikant schlechtere Werte als postoperativ. Zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt hatten sich beide GDW weiter verschlechtert. Der Beta-Winkel glich sich den präoperativen Werten an, der Gamma-Winkel zeigte sogar schlechtere Werte als zum präoperativen Zeitpunkt.

Andress et al. [2] sahen im Verlauf des monosegmentalen GDW zur Nachuntersuchung nach durchschnittlich 68 Monaten nach dorsaler Operation sogar eine Verschlechterung des Winkels im Vergleich zu präoperativ.

Die Ergebnisse von Knop et al. im Rahmen der MCS I [50] zeigten ähnliche Verläufe zu denen dieser Arbeit. Zum Nachuntersuchungszeitpunkt nach durchschnittlich $2\frac{1}{4}$ Jahren wies dort nach dorsaler Operationstechnik der monosegmentale GDW noch bessere Werte als vor der Operation auf; der bisegmentale GDW zeigte schon zu diesem Zeitpunkt keine signifikant unterschiedlichen Werte zu den präoperativen. Bezogen auf die Korrekturverluste waren zwischen der rein dorsalen und dorsoventralen Stabilisierung in der MCS I vergleichbare Ergebnisse zu verzeichnen. Allerdings war der relative Korrekturverlust des dorsalen Operationsverfahrens größer, da im Rahmen des kombinierten Zuganges zum postoperativen Zeitpunkt ein größerer Korrekturgewinn erzielt werden konnte [52].

Betrachtet man die Verläufe der GDW in der MCS II [72], zeigten sich nach zunächst ähnlichen Korrekturgewinnen bei den verschiedenen Operationsarten im Verlauf zu

den Nachuntersuchungen nach mindestens einem Jahr nach Operation beim Gamma-Winkel nach rein dorsaler Behandlung stärkere kyphotische Fehlstellungen als nach kombinierter Therapie.

Bertram et al. [8] konnten nach deutlich längeren Nachuntersuchungszeiträumen von durchschnittlich 6,7 Jahren diese postoperativen Verläufe bestätigen. Nach stärkerer Korrektur fand bei dorsoventraler Stabilisierung bis zur letzten Nachuntersuchung ein geringerer Repositionsverlust von 13% ($1,7^\circ$) statt. Im Verhältnis dazu wurden nach isoliert dorsaler Operation 85% ($6,9^\circ$) des Repositionsergebnisses eingebüßt. Die geringeren Korrekturverluste des bisegmentalen Grund-Deckplatten-Winkels nach kombinierter Operationstechnik wurden auch durch die Untersuchungen von Schnake et al. [76] mit dem dort ermittelten Wert von $2,6^\circ$ bestätigt, wobei der größte Korrekturverlust im ersten Jahr nach Operation auftrat.

Defino und Canto [25] wie auch Leferink et al. [57] berichteten nach 2 Jahren nach rein dorsaler Spondylodese von einer Verschlechterung des bisegmentalen GDW auf präoperative Werte. Eysel et al. [30, 31] fanden nach durchschnittlich 5 Jahren nach dorsaler Instrumentierung sogar schlechtere Werte des Gamma-Winkels als vor Operation. Auch Bühren [18] berichtete von diesem Phänomen. Somit bestätigen diese Resultate die Langzeitergebnisse der vorliegenden Arbeit.

Dem gegenüber stehen die Resultate von Knop et al. [49] (im Mittel 3 Jahre und 4 Monate) nach dorsaler Instrumentierung. Der postoperative Korrekturverlust des Gamma-Winkels betrug hier 10° ; allerdings hatte zuvor eine Reposition intraoperativ um 16° stattgefunden, sodass zum Nachuntersuchungszeitpunkt ein Korrekturgewinn im Vergleich zu präoperativ von 6° gesichert werden konnte und somit von der ursprünglich erzielten Korrektur 37% erhalten blieben.

Zusammenfassend zeigte die Literaturrecherche nach dorsoventraler Stabilisierung überwiegend geringere Rekyphoseraten des Grund-Deckplatten-Winkels als nach dorsaler Operation. Schnake et al. [76] begründeten dies mit der größtmöglichen Stabilisierung, die das kombinierte Verfahren für die thorakolumbalen Wirbelsäulenfrakturen bietet und auch Josten et al. [42] bewerteten die zusätzliche Rekonstruktion der ventralen Säule als beste Möglichkeit die sekundäre Kyphose zu minimieren. Allerdings weist diese Operationstechnik im Vergleich zur dorsalen Instrumentierung höhere Komplikationsraten auf [71, 76]. Neben einem höheren Risiko für pulmonale Komplikationen ist diese Operationstechnik vor allem durch höhere Blutverluste und längere Operationszeiten gekennzeichnet [66]. Dies führt zu einer höheren Morbidität [87, 88, 90] der Patienten und nicht selten zu längeren Krankenhausaufenthalten und höheren Behandlungskosten [66].

4.4.3 Die Rolle der Bandscheibe

Wie in Abschnitt 3.4 beschrieben, glichen sich die in dieser Arbeit ermittelten Parameter der vorderen Säule (Wirbelkörperwinkel und Beck-Index) zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt wieder den präoperativen Werten an. Der bisegmentale Grund-Deckplatten-Winkel zeigte zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt sogar schlechtere Werte als vor der operativen Versorgung. Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass der Korrekturverlust nicht nur durch die knöchernen Instabilität des frakturierten Wirbelkörpers, sondern auch durch einen Bandscheibenkollaps, vor allem im Zwischenwirbelraum oberhalb der Fraktur bedingt ist.

Viele Studien bestätigten diese Hypothese [2, 18, 45, 49, 87] und führten die Rekyphosierung nach dorsaler Stabilisierung vor allem auf eine Bandscheibenproblematik zurück. Auch Liljenqvist und Mommsen [59] sprachen der Bandscheibe oberhalb des frakturierten Wirbels eine entscheidende Rolle für die Sinterung des Wirbelsäulensegmentes zu. In ihrer Untersuchung blieb der Wirbelkörper sogar weitestgehend stabil. Ähnliche Ergebnisse beschrieb Daniaux [23] bereits 1986. Er beobachtete 70% des Korrekturverlustes im Bereich des Zwischenwirbelraumes und nur 30% durch den traumatisierten Wirbelkörper. Untersuchungen von Eysel et al. [30, 31] und Resch et al. [74] nach dorsaler Instrumentierung bestätigten diese Resultate. Katscher et al. [45] fanden nach Wirbelkörperfraktur in beiden angrenzenden Bandscheiben irreversible Schäden, wobei der untere Nucleus pulposus, gekennzeichnet durch ein ausgedehntes Hämatom, wenig Heilungspotential zeigte. Weckbach und Blattert [88] sahen bis zur Materialentfernung $\frac{1}{3}$ des Korrekturverlustes im Bereich des Wirbelkörpers, $\frac{2}{3}$ waren durch einen Bandscheibenkollaps bedingt. Die Spätkyphosierung fand fast ausschließlich im Intervertebralraum statt.

Die biomechanische Stabilität der Wirbelsäule ist somit "nicht nur durch die Funktion von Wirbel und Bandapparat, sondern auch von Vitalität und Prognose der Bandscheibe definiert" [42]. Diese ist beim Wirbelsäulentrauma (vor allem bei Kompressionsfrakturen) dem Risiko ausgesetzt durch den "direkten Maximaldruck" von den scharfkantigen Wirbelfragmenten destruiert und in den Wirbel imprimiert zu werden. Da vor allem der daraus resultierende Weichteilschaden die weitere Prognose der Wiederherstellung der Wirbelsäulenphysiologie bestimmt, sahen Josten et al. [42] die alleinige dorsale Stabilisierung nicht als ausreichend an. Sie plädierten für eine "konsequente Ausräumung" des zerstörten Intervertebralraumes mit interkorporalem Ersatz bzw. zusätzlicher Stabilisierung um den sekundären Repositionsverlust zu verhindern. Dagegen betrachteten Wälchli et al. [87] den Bandscheibenschaden und

die zusätzliche Ausräumung des Zwischenwirbelraumes als ursächlich für den Korrekturverlust. Sie konnten nach interkorporeller Spongiosaplastik keine ausreichende Abstützung feststellen und favorisierten daher das kombinierte Operationsverfahren zur optimalen Stabilisierung der ventralen Säule.

Eysel et al. [30] sprachen sich für eine Resektion der zerstörten Bandscheibe und gegen ein rein dorsales Vorgehen aus, da sie die Ursache für den Repositionsverlust im Zwischenwirbelraum in der Überdistraktion im Bereich des Wirbelkörpers und der Bandscheibe sahen. Sie erklärten dies durch die bindegewebige Narbenbildung nach der Erweiterung des Intervertebralraumes bei rein dorsaler Instrumentierung. Da das Narbengewebe axiale Kräfte ungleichmäßig weiterleite, resultiere daraus eine potentielle Instabilität mit Verknöcherungen im Längsband und der Verlust des Korrekturgewinnes.

Zusammenfassend sind nicht nur die Art der Stabilisierung sondern auch der Zeitpunkt der Operation [42] und der Materialentfernung [85] entscheidend für das Outcome der Bandscheibe. Nach Josten et al. [42] wird der Operationszeitpunkt neben der Instabilität der Fraktur maßgeblich von der Vitalität der Bandscheibe bestimmt. Verheyden et al. [85] betrachteten die Materialentfernung frühzeitig nach knöcherner Durchbauung des frakturierten Wirbelkörpers (nach dorsaler Stabilisierung), besonders bei Überbrückung unverletzter Bewegungssegmente, als essentiell zum Erhalt der Bandscheibenfunktion. Ergebnisse von Katscher et al. [45] stützen diese Aussage. Sie sahen durch die temporäre Ruhigstellung eine Gefahr der sekundären funktionellen Schädigung der Bandscheibe.

In der vorliegenden Arbeit hatte zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt bei 50% der Patienten eine Materialentfernung stattgefunden. Entgegen den Resultaten aus der Literatur zeigten sich bei den Patienten, die noch keine ME erhalten hatten, allerdings kleinere Gamma-Winkel, was einen geringeren Repositionsverlust im Zwischenwirbelraum vermuten lässt, als bei Patienten mit erfolgter Materialentnahme. Dieses Ergebnis könnte durch eine Stabilisierung und Entlastung des Zwischenwirbelraumes durch den Fixateur interne bedingt sein.

4.5 Zusammenhang Radiologie und Nachuntersuchungsscore

Es ist allgemein bekannt, dass bei rein dorsaler Stabilisierung im postoperativen Verlauf ein sekundärer Korrekturverlust auftritt [8, 30, 50, 72, 87]. Anhand der radiologischen Ergebnisse könnte man auch bei der vorliegenden Arbeit eine deutlich eingeschränkte Funktionalität und ein erheblich reduziertes klinisches Outcome vermuten. Allerdings zeigten der Hannover-Wirbelsäulen-Score, als Maß für das klinische Outcome, und die radiologischen Parameter eine entgegengesetzte Entwicklung. Im Verlauf der Nachuntersuchungszeitpunkte wurden die radiologischen Werte schlechter und glichen sich den präoperativen an (der Gamma- Winkel zeigte sogar schlechtere Ergebnisse als präoperativ). Der Nachuntersuchungsscore verbesserte sich jedoch vom ersten zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt signifikant. Somit lässt sich vermuten, dass der radiologische Befund des traumatisierten Wirbelsäulenabschnittes nicht mit der klinischen Symptomatik korreliert.

In der Literatur findet diese Annahme überwiegend Bestätigung [8, 15, 18, 73, 90]. Auch Knop et al. [49, 50] und Andress et al. [2] sahen keine Korrelation zwischen den Ergebnissen des Hannover-Wirbelsäulen-Scores und den röntgenologischen Parametern nach dorsaler Stabilisierung. Briem et al. [16] konnten in einer Untersuchung zur Lebensqualität nach dorsoventraler Stabilisierung keinen Zusammenhang zwischen der körperlichen Schmerzsymptomatik und der Größe des GDW bzw. dem Korrekturverlust erkennen. Sie sahen vielmehr die Verletzungsschwere als bestimmenden Faktor für den Verlust der Lebensqualität an. Sowohl Been und Bouma [6] als auch Liljenqvist und Mommsen [60] bestätigten die fehlende Korrelation zwischen den röntgenologischen Befunden und dem Schmerz als Parameter für das klinische Outcome. Weiterhin konnten Leferink et al. [57] keinen Zusammenhang zwischen der Rekyphosierung und dem klinischen Befund im postoperativen Verlauf nach dorsaler Instrumentierung finden. Ihr Patientenkollektiv zeigte nach 3-8 Jahren nach Operation sogar vergleichbare Ergebnisse zu gesunden Probanden.

Demgegenüber stehen die Ergebnisse von Trojan [84]. Er fand eine stärkere Beschwerdesymptomatik bei einer Kyphosierung über 20°. Ähnliche Resultate erbrachte die Multicenterstudie von Gertzbein [35]. Er sah in seinem Patientenkollektiv bei einer Kyphose über 30° stärkere Rückenschmerzen. Auch Katscher et al. [45] betrachteten eine Kyphosierung >20° und eine persistierende Instabilität als prognostisch ungünstig. Dies begründeten sie anhand der veränderten Biomechanik und der damit verbundenen Entstehung einer Spondylarthrose.

Nach den Erkenntnissen von Prokop et al. [68] scheinen auch der Zugangsweg und die damit verbundene Morbidität einen Einfluss auf das klinische Outcome zu haben. So beschrieben sie nach offenem dorsalen Vorgehen durch den Schnitt über den Dornfortsätzen stärkere Schmerzen und durch die Ablösung der paravertebralen Muskulatur Funktionsstörungen im Verlauf. Sie befürworteten daher die minimal-invasive Versorgung, auch wenn bei diesem Verfahren nur eine eingeschränkte Reposition im ventralen Durchhang möglich ist.

Zusammenfassend bestätigt die Mehrzahl der Studien das Langzeitergebnis der vorliegenden Arbeit. Allerdings bleibt die Frage offen, wie invasiv eine Wirbelkörperfraktur versorgt werden sollte, da im Langzeitverlauf nach dorsaler Instrumentierung in der Regel schlechte radiologische Ergebnisse mit guten klinischen Befunden verbunden sind. Schon L. Böhler wollte die Frakturbehandlung "So konservativ wie möglich, so operativ wie nötig" [71] gestalten. Wälchli et al. [87] bewerteten die dorsale Stabilisierung mittels Fixateur interne, trotz Korrekturverlust, als Operationsverfahren mit (meist) guten bis sehr guten Ergebnissen "bezüglich der Funktion, des Schmerzbildes und der sozialen Reintegration der Patienten". Sie sahen durch das kombinierte Vorgehen kein weiteres Potential das klinische Outcome zu verbessern. Ist es demzufolge sinnvoll eine zusätzliche ventrale Stabilisierung anzustreben, wenn der geringere Korrekturverlust nicht mit einem zusätzlichen Gewinn an Lebensqualität verbunden zu sein scheint?

Um diese Fragen beantworten zu können sind prospektive, kontrollierte Langzeituntersuchungen notwendig, um die Effektivität der dorsoventralen und auch minimal-invasiven Operationstechniken im Vergleich zum offenen, rein dorsalen Verfahren beurteilen und eine Kosten-Nutzen-Abwägung sicher durchführen zu können.

4.6 Einfluss des Geschlechts auf die klinischen und radiologischen Ergebnisse

Der Einfluss des Geschlechts auf die radiologischen Parameter und den klinischen Befund nach einer traumatischen Wirbelkörperfraktur wurde in der Literatur bisher nur vereinzelt betrachtet.

Briem et al. [14] fanden im Rahmen einer Studie zur Schmerzregulation und Lebensqualität nach thorakolumbalen Wirbelsäulenfraktur keinen Einfluss des

Geschlechts auf das funktionale Outcome bzw. die Lebensqualität der Patienten. Karalodos [44] bestätigte diese Ergebnisse. In ihrer Untersuchung erzielten Frauen im Vergleich zu Männern zwar numerisch betrachtet bessere Ergebnisse bezüglich der körperlichen Funktionsfähigkeit und schlechtere bezüglich der Vitalität im SF-36, die Unterschiede waren allerdings statistisch nicht signifikant. Die Resultate von Stadhouders et al. [82] widersprachen den vorgenannten. In ihrer Studie zeigten Frauen signifikant schlechtere Ergebnisse im SF-36 in Bezug auf die körperliche Funktionsfähigkeit, Vitalität und mentale Gesundheit. Reinhold et al. [72] sahen in der MCS II einen signifikanten Einfluss des Geschlechts auf den Fußboden-Finger-Abstand bei der Nachuntersuchung, wobei Frauen in dieser Untersuchung bessere Ergebnisse erreichten.

In der vorliegenden Arbeit zeigte der Hannover-Wirbelsäulen-Score eine geschlechtsspezifische Veränderung vom ersten zum zweiten Nachuntersuchungszeitpunkt. Frauen wiesen, im Gegensatz zu den Männern, eine signifikante Verbesserung von der ersten zur zweiten Nachuntersuchung auf, wobei der Score numerisch zum zweiten Zeitpunkt schlechter als der der Männer war. Röntgenologisch betrachtet zeigten Frauen ab der ersten Nachuntersuchung schlechtere Ergebnisse (ausgenommen der Alpha-Winkel zum ersten NU-Zeitpunkt), wobei die Unterschiede nur für den Beck-Index das Signifikanzniveau erreichten.

Ursächlich für diese radiologischen und klinischen Ergebnisse könnte eine beginnende Abnahme der Knochendichte und -festigkeit beim weiblichen Geschlecht sein. Das Alter der Frauen zum Unfall lag im Mittel bei 50,5 Jahren. Die Menopause tritt meist zwischen dem 45. und 55. Lebensjahr auf [69]. 40% der Frauen über dem 50. Lebensjahr erkranken an einer Osteoporose [1, 39]. Diese Skeletterkrankung tritt überdurchschnittlich bei Frauen nach der Menopause auf und führt zu einem Überwiegen der Knochenresorption, was zu einer negativen Knochenbilanz führt und das Frakturrisiko deutlich erhöht [78]. Nach einer osteoporotischen Wirbelkörperfraktur weisen ein Großteil der Patientinnen "persistierende und relevante Einschränkungen der Lebensqualität auf" [39]. Dieser Aspekt und die Ergebnisse von Leboeuf-Yde et al. [56], dass Frauen chronische und postoperative Rückenschmerzen länger wahrnehmen als Männer, könnte ein Grund für das numerisch schlechtere klinische Outcome der Frauen in der vorliegenden Arbeit sein.

4.7 Schlussfolgerungen

Die rein dorsale Stabilisierung nach traumatischer Wirbelkörperfraktur führt überwiegend zu einem sekundären Korrekturverlust. Dies bestätigten die radiologischen Langzeitergebnisse der vorliegenden Arbeit. Gegensätzlich zur röntgenologischen Entwicklung verbesserte sich das klinische Outcome, gemessen am Hannover-Wirbelsäulen-Score. Somit können weder die Hypothese 1 "Der klinische Nachuntersuchungsscore verschlechtert sich im Verlauf von der ersten zur zweiten Nachuntersuchung" noch die Aussage der Hypothese 2, dass sich die radiologischen Parameter im postoperativen Verlauf nicht signifikant ändern, bestätigt werden.

Bezogen auf das dorsoventrale Vorgehen schrieben Reinhold et al. [72]: "Fraglich bleibt, ob das bessere röntgenologische Ergebnis zu weniger Beschwerden im Verlauf nach Jahren führt". Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen nach rein dorsaler Instrumentierung gute klinische Ergebnisse bei schlechten radiologischen Werten, die den präoperativen gleichen. Dies wirft die Frage auf, ob die Invasivität des Operationsverfahrens rein von radiologischen Größen bestimmt sein sollte.

Um diesbezüglich Antworten zu finden sind weitere prospektive, randomisierte Studien notwendig, um die klinischen und radiologischen Langzeitergebnisse der einzelnen Operationsverfahren methodisch sauber vergleichend bewerten zu können.

Weiterhin lässt sich anhand der geschlechtsspezifisch unterschiedlichen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit, unter Berücksichtigung der gegebenen Limitationen, eine besondere Herausforderung bei der Versorgung von Wirbelkörperfrakturen beim weiblichen Geschlecht vermuten.

Somit könnte die vorliegende Arbeit als Grundlage für prospektive Studien dienen, in denen gezielt geschlechtsspezifische Langzeitverläufe nach Stabilisierung von Wirbelkörperfrakturen untersucht und im Rahmen des Studiendesigns der Einfluss weiterer Effekte, wie zum Beispiel des Zeitpunktes der Materialentfernung betrachtet werden.

5 Zusammenfassung

Die Wahl des adäquaten Operationsverfahrens zur Versorgung instabiler Wirbelkörperfrakturen ist Gegenstand anhaltender Diskussionen, unter anderem da umfangreiche klinische und radiologische Langzeitergebnisse zu den verschiedenen Behandlungsmethoden fehlen. In der vorliegenden Arbeit wurden 24 Patienten mit traumatischer Wirbelkörperfraktur, die im Zeitraum von 1991 bis 2001 mit einer rein dorsalen Stabilisierung in der Klinik für Orthopädie der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg versorgt wurden, bezüglich des Langzeitverlaufes der radiologischen und klinischen Parameter untersucht und der Einfluss des Geschlechtes auf den Verlauf näher betrachtet. Nach operativer Versorgung fanden zwei Nachuntersuchungen (NU 1993 - 2001 und 2007 - 2008) statt. Somit konnten über einen Verlauf von durchschnittlich mehr als 10 Jahren Ergebnisse erhoben werden. Zu den vier Untersuchungszeitpunkten (präoperativ, postoperativ, NU 1 und 2) wurden die radiologischen Parameter Körperwinkel, mono- bzw. bisegmentaler Grund-Deckplatten-Winkel (GDW) und der Beck-Index anhand des Röntgenbildes bestimmt, um die Stabilität der Korrektur des frakturierten Wirbelkörpers und des umliegenden Wirbelsäulenabschnittes im Verlauf beurteilen zu können. Zusätzlich wurde zu jedem NU-Zeitpunkt das klinische Outcome der Patienten anhand des Hannover-Wirbelsäulen-Scores dokumentiert.

Die radiologischen Parameter änderten sich im Zeitverlauf signifikant. Nach einem deutlichen Korrekturgewinn nach der Operation wurden bis zur zweiten NU signifikante Repositionsverluste auf präoperative Werte verzeichnet. Der bisegmentale GDW zeigte sogar schlechtere Werte als präoperativ. Frauen wiesen ab der ersten NU numerisch schlechtere Ergebnisse auf als Männer (ausgenommen der Alpha-Winkel zur ersten NU), wobei die Unterschiede nur für den Beck-Index das Signifikanzniveau erreichten. Entgegen den radiologischen Ergebnissen verbesserte sich der Hannover-Wirbelsäulen-Score geschlechtsunspezifisch signifikant vom ersten zum zweiten NU-Zeitpunkt. Der Score der Frauen stieg, im Gegensatz zu dem der Männer, von der ersten zur zweiten NU signifikant an. Männer wiesen grundsätzlich höhere Scorewerte auf, zeigten allerdings vom ersten zum zweiten NU-Zeitpunkt keine signifikante Steigerung.

Schlussfolgernd muss nach rein dorsaler Stabilisierung mit einem sekundären Korrekturverlust gerechnet werden. Der klinische Befund entwickelte sich hingegen geschlechtsspezifisch und verbesserte sich über die NU-Zeitpunkte signifikant. Daher sollte in folgenden Studien untersucht werden, inwieweit eine zusätzlich ventrale Instrumentierung, unter Abwägung von höheren Komplikationsraten und Behandlungskosten, sinnvoll ist. Außerdem sollte in weiteren Untersuchungen die Indikation von geschlechtsspezifischen Behandlungen geprüft werden.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Adachi JD, Ioannidis G, Pickard L, Berger C, Prior JC, Joseph L, Hanley DA, Olszynski WP, Murray TM, Anastassiades T, Hopman W, Brown JP, Kirkland S, Joyce C, Papaioannou A, Poliquin S, Tenenhouse A, Papadimitropoulos EA: The association between osteoporotic fractures and health-related quality of life as measured by the Health Utilities Index in the Canadian Multicentre Osteoporosis Study (CaMos). *Osteoporos Int* 14. 11. 895–904 (2003)
- [2] Andress H, Braun H, Helmberger T, Schürmann M, Hertlein H, Hartl WH: Long-term results after posterior fixation of thoraco-lumbar burst fractures. *Injury* 33. 4. 357–365 (2002)
- [3] Augat P: Biomechanik der Wirbelsäule. In: V. Bühren and C. Josten, Eds.: *Chirurgie der verletzten Wirbelsäule*. 5–18. Springer. Berlin, Heidelberg 2013.
- [4] Baron HC, Ochs BG, Stuby FM, Stöckle U, Badke A: Metallentfernung an der Wirbelsäule. *Unfallchirurg* 115. 4. 339–342 (2012)
- [5] Baum DS: Versorgungsstrategien von Wirbelfrakturen des thorakolumbalen Übergangs. Grenzen der alleinigen dorsalen Stabilisierung. 18-20. Dissertation. Georg-August-Universität Göttingen 2009.
- [6] Been HD, Bouma GJ: Comparison of two types of surgery for thoraco-lumbar burst fractures: combined anterior and posterior stabilisation vs. posterior instrumentation only. *Acta Neurochir* 141. 4. 349–357 (1999)
- [7] Beisse R: Destruktive Veränderung. Verletzung. In: A. von Stempel, Ed.: *Die Wirbelsäule*. 198–240. Thieme. Stuttgart 2001.
- [8] Bertram R, Bessem H, Diedrich O, Wagner U, Schmitt O: Vergleich von dorsolateralen mit dorsoventralen Stabilisierungsverfahren in der Behandlung von Wirbelsäulenfrakturen. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 141. 5. 573–577 (2003)
- [9] Blauth M: Verletzungen der thorakolumbalen Wirbelsäule und ihre operative Behandlung. Eine biomechanische und klinische Studie. 61-68. Habilitationsschrift. Medizinische Hochschule Hannover 1992.
- [10] Blauth M, Tscherne H, Haas N: Therapeutic concept and results of operative treatment in acute trauma of the thoracic and lumbar spine: the Hannover experience. *J Orthop Trauma* 1. 3. 240–252 (1987)
- [11] Boerger TO, Limb D, Dickson RA: Does 'canal clearance' affect neurological outcome after thoracolumbar burst fractures? *J Bone Joint Surg Br* 82. 5. 629–635 (2000)
- [12] Boucher M, Bhandari M, Kwok D: Health-related quality of life after short segment instrumentation of lumbar burst fractures. *J Spinal Disord* 14. 5. 417–426 (2001)
- [13] Bransford RJ, Dekutoski M: Minimal-invasive Interventionen bei thorakolumbalen Frakturen. Effekte auf das Outcome. *Unfallchirurg* 115. 12. 1061–1065 (2012)
- [14] Briem D, Behechtnejad A, Ouchmaev A, Morfeld M, Schermelleh-Engel K, Amling M, Rueger JM: Pain regulation and health-related quality of life after thoracolumbar fractures of the spine. *Eur Spine J* 16. 11. 1925–1933 (2007)
- [15] Briem D, Lehmann W, Ruecker AH, Windolf J, Rueger JM, Linhart W: Factors influencing the quality of life after burst fractures of the thoracolumbar transition. *Arch Orthop Trauma Surg* 124. 7. 461–468 (2004)

- [16] Briem D, Linhart W, Lehmann W, Bullinger M, Schoder V, Meenen NM, Windolf J, Rueger JM: Untersuchung der Lebensqualität nach dorsoventraler Stabilisierung von Wirbelkörperfrakturen des thorakolumbalen Übergangs. *Unfallchirurg* 106. 8. 625–632 (2003)
- [17] Briem D, Meenen NM, Linhart W, Burchard A, Lehmann W, Rueger JM: Dorsale Stabilisierung von Frakturen des thorakolumbalen Überganges. Follow-up-Analyse und Vergleich mit konkurrierenden Methoden. *Osteosynthese International* 8. Suppl 1. 215–216 (2000)
- [18] Bühren V: Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule. *Unfallchirurg* 106. 1. 55–69 (2003)
- [19] Bühren V: Versorgungsalgorithmen. In: V. Bühren and C. Josten, Eds.: *Chirurgie der verletzten Wirbelsäule*. 27–32. Springer. Berlin, Heidelberg 2013.
- [20] Chapman JR: Wirbelsäulentrauma: Perspektiven. *Unfallchirurg* 115. 12. 1054–1055 (2012)
- [21] Cobb JR: Outline for the study of scoliosis. *American Academy of Orthopaedic Surgeons Instr Course Lect* 5. 261–275 (1948)
- [22] Dai LY: Remodeling of the spinal canal after thoracolumbar burst fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 382. 119–123 (2001)
- [23] Daniaux H: Transpedikuläre Reposition und Spongiosaplastik bei Wirbelkörperbrüchen der unteren Brust- und Lendenwirbelsäule. *Unfallchirurg* 89. 197–213 (1986)
- [24] Danisa OA, Shaffrey CI, Jane JA, Whitehill R, Wang GJ, Szabo TA, Hansen CA, Shaffrey ME, Chan DP: Surgical approaches for the correction of unstable thoracolumbar burst fractures: a retrospective analysis of treatment outcomes. *J Neurosurg* 83. 6. 977–983 (1995)
- [25] Defino HL, Canto FR: Low thoracic and lumbar burst fractures: radiographic and functional outcomes. *Eur Spine J* 16. 11. 1934–1943 (2007)
- [26] Delank KS, Siekmann H, Gräper J: Die osteoporotische Wirbelfraktur. Moderne Therapiealgorithmen einer Volkskrankheit. *Arzteblatt Sachsen-Anhalt* 25. 1/2. 73–77 (2014)
- [27] Denis F: The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. *Spine* 8. 8. 817–831 (1983)
- [28] Denis F, Armstrong GW, Searls K, Matta L: Acute thoracolumbar burst fractures in the absence of neurologic deficit. A comparison between operative and nonoperative treatment. *Clin Orthop Relat Res*. 189. 142–149 (1984)
- [29] Eggers C, Stahlenbrecher A: Verletzungen der BWS und LWS. *Unfallchirurg* 101. 10. 779–790 (1998)
- [30] Eysel P, Hopf C, Fürderer S: Kyphotische Deformierungen bei Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule. *Orthopäde* 30. 12. 955–964 (2001)
- [31] Eysel P, Rompe JD, Hopf C, Meinig G: Die Bedeutung der Bandscheibe für den Repositionsverlust operativ stabilisierter Frakturen der Rumpfwirbelsäule. *Unfallchirurg* 97. 9. 451–457 (1994)
- [32] Ezzati A, Shawky A, Shousha M., Boehm H: Wirbelsäulenfrakturen. Neue therapeutische Optionen. *arthritis + rheuma* 31. 3. 175–182 (2011)
- [33] Frankel HL, Hancock DO, Hyslop G, Melzak J, Michaelis LS, Ungar GH, Vernon JD, Walsh JJ: The value of postural reduction in the initial management of closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia. I. *Paraplegia* 7. 3. 179–192 (1969)

- [34] Gauvin MG, Riddle DL, Rothstein JM: Reliability of clinical measurements of forward bending using the modified fingertip-to-floor method. *Phys Ther* 70. 7. 443–447 (1990)
- [35] Gertzbein SD: Scoliosis Research Society. Multicenter spine fracture study. *Spine* 17. 5. 528–540 (1992)
- [36] Grass R, Biewener A, Dickopf A, Rammelt S, Heineck J, Zwipp H: Perkutane dorsale versus offene Instrumentation bei Frakturen des thorakolumbalen Übergangs. Eine vergleichende prospektive Untersuchung. *Unfallchirurg* 109. 4. 297–305 (2006)
- [37] Grouven U, Bender R, Ziegler A, Lange S: Vergleich von Messmethoden. *Dtsch Med Wochenschr* 132. 69–73 (2007)
- [38] Gühring T, Raible C, Matschke S: Perkutane dorsale Instrumentierung der thorakolumbalen Wirbelsäule. Technik der geschlossenen Frakturposition bei gleichzeitiger Dekompression des Spinalkanals. *Unfallchirurg* 116. 8. 749–754 (2013)
- [39] Günther KP, Hofbauer L, Defer A, Dreinhöfer K, Duda G, Goldhahn J, Jakob F, Kurth A, Linde A, Raschke MJ, Rueger JM, Steinbronn R, Stroszczyński C, Unger L, Zwipp H: Umsetzung der Osteoporoseleitlinien in Orthopädie und Unfallchirurgie - Ergebnisse eines Expertenworkshops der DGOU. *Z Orthop Unfall* 147. 5. 542–546 (2009)
- [40] Holdsworth FW: Fractures, dislocations, and fracture-dislocations of the spine. *J Bone Joint Surg Br* 45 B. 1. 6–20 (1963)
- [41] Horre T: Finger-Boden-Abstand und Schober-Test - Genügen diese Tests wissenschaftlichen Kriterien? *Manuelle Therapie*. 8. 55–65 (2004)
- [42] Josten C, Katscher S., Gonschorek O: Therapiekonzepte bei Frakturen des thorakolumbalen Übergangs und der Lendenwirbelsäule. *Orthopäde* 10. 34. 1021–1032 (2005)
- [43] Junge A, Gotzen L, von Garrel T, Ziring E, Giannadakis K: Die monosegmentale Fixateur interne Instrumentation und Fusion in der Behandlung von Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule. *Unfallchirurg* 11. 100. 880–887 (1997)
- [44] Kara-Lodos S: Lebensqualität der Patienten nach operativer Versorgung von Wirbelkörperfrakturen im thorakolumbalen Übergang. 11-26. Dissertation. Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf 2011.
- [45] Katscher S, Verheyden P, Gonschorek O, Glasmacher S, Josten C: Thorakolumbale Wirbelfrakturen nach konservativer und operativer Behandlung. Abhängigkeit des Korrekturverlustes von der Höhenlokalisation. *Unfallchirurg* 106. 1. 20–27 (2003)
- [46] Keynan O, Fisher CG, Vaccaro A, Fehlings MG, Oner FC, Dietz J, Kwon B, Rampersaud R, Bono C, France J, Dvorak M: Radiographic measurement parameters in thoracolumbar fractures: a systematic review and consensus statement of the spine trauma study group. *Spine*. 31. 156–165 (2006)
- [47] Klawunde P: Der Langzeitverlauf des Korrekturergebnisses nach Implantation eines Fixateur Interne bei Frakturen des thorakolumbalen Überganges und der Lendenwirbelsäule in Abhängigkeit von der Frakturform. Dissertation. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg 2007.
- [48] Knop C, Blauth M: Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule ohne und mit neurologischer Beteiligung. *OP-Journal* 17. 2. 102–111 (2001)

- [49] Knop C, Blauth M, Bastian L, Lange U, Kesting J, Tscherne H: Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule. Spätergebnisse nach dorsaler Instrumentierung und ihre Konsequenzen. *Unfallchirurg* 100. 8. 630–639 (1997)
- [50] Knop C, Blauth M, Bühren V, Arand M, Egbers HJ, Hax PM, Nothwang J, Oestern HJ, Pizanis A, Roth R, Weckbach A, Wentzensen A: Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs. Teil 3: Nachuntersuchung. *Unfallchirurg* 104. 7. 583–600 (2001)
- [51] Knop C, Blauth M, Bühren V, Hax PM, Kinzl L, Mutschler W, Pommer A, Ulrich C, Wagner S, Weckbach A, Wentzensen A, Wörsdörfer O: Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs. Teil 1: Epidemiologie. *Unfallchirurg* 102. 12. 924–935 (1999)
- [52] Knop C, Blauth M, Bühren V, Hax PM, Kinzl L, Mutschler W, Pommer A, Ulrich C, Wagner S, Weckbach A, Wentzensen A, Wörsdörfer O: Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs. Teil 2: Operation und röntgenologische Befunde. *Unfallchirurg* 103. 12. 1032–1047 (2000)
- [53] Knop C, Oeser M, Bastian L, Lange U, Zdichavsky M, Blauth M: Entwicklung und Validierung des VAS-Wirbelsäulenscores. *Unfallchirurg* 104. 6. 488–497 (2001)
- [54] Koebeke J, Bade H: Rücken, Dorsum. In: J. Fanghänel, F. Pera, F. Anderhuber and R. Nitsch, Eds.: *Waldeyer Anatomie des Menschen*. 629–656. de Gruyter. Berlin 2003.
- [55] Kuklo TR, Polly DW, Owens BD, Zeidman SM, Chang AS, Klemme WR: Measurement of thoracic and lumbar fracture kyphosis: evaluation of intraobserver, interobserver, and technique variability. *Spine* 26. 1. 61–66 (2001)
- [56] Leboeuf-Yde C, Nielsen J, Kyvik KO, Fejer R, Hartvigsen J: Pain in the lumbar, thoracic or cervical regions: do age and gender matter? A population-based study of 34,902 Danish twins 20-71 years of age. *BMC Musculoskelet Disord* 10. 39 (2009)
- [57] Leferink VJ, Keizer HJ, Oosterhuis JK, van der Sluis CK, ten Duis HJ: Functional outcome in patients with thoracolumbar burst fractures treated with dorsal instrumentation and transpedicular cancellous bone grafting. *Eur Spine J* 12. 3. 261–267 (2003)
- [58] Lendemans S, Hussmann B, Kauther MD, Nast-Kolb D, Taeger G: Minimal-invasive dorsale Stabilisierung der thorakolumbalen Wirbelsäule. *Unfallchirurg* 114. 2. 149–159 (2011)
- [59] Liljenqvist U, Mommsen U: 2- bis 5-Jahres Ergebnisse operativ versorgter thorakolumbalen Frakturen. *Orthop Praxis*. 11. 688–692 (1994)
- [60] Liljenqvist U, Mommsen U: Die operative Behandlung thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen mit dem Fixateur interne und transpedikulärer Spongiosaplastik. *Unfallchirurgie* 21. 1. 30–39 (1995)
- [61] Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S: A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *Eur Spine J* 3. 4. 184–201 (1994)
- [62] Maier B, Ploss C, Marzi I: Verletzungen der thorakolumbalen Wirbelsäule. *Orthopäde* 39. 3. 247–255 (2010)
- [63] McLain RF, Burkus JK, Benson DR: Segmental instrumentation for thoracic and thoracolumbar fractures: prospective analysis of construct survival and five-year follow-up. *Spine J* 1. 5. 310–323 (2001)
- [64] Müller CW, Hübner T, Gössling T, Krettek C: *Traumatologie der Wirbelsäule*. *Chirurg* 79. 10. 918–926 (2008)

- [65] Nehrdich F: Nachweis einer Wiederaufweitung des Spinalkanales durch Ligamentotaxis und biologisches Remodeling nach Wirbelsäulenverletzungen mit Spinalkanaleinengung. 33-44. Dissertation. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 2003.
- [66] Oprel P, Tuinebreijer WE, Patka P, den Hartog D: Combined anterior-posterior surgery versus posterior surgery for thoracolumbar burst fractures: a systematic review of the literature. *Open Orthop J* 4. 93–100 (2010)
- [67] Prokop A, Koukal C, Dolezych R, Chmielnicki M: Kyphoplastie zur Behandlung osteoporotischer Wirbelfrakturen. Eigene Erfahrungen mit über 500 Behandlungen. *Z Gerontol Geriatr* 45. 8. 756–760 (2012)
- [68] Prokop A, Koukal C, Dolezych R, Chmielnicki M: Minimalinvasive Versorgung von thorakolumbalen Wirbelfrakturen. Möglichkeiten und Grenzen. *Trauma Berufskrankh* 14. Suppl 3. 335–343 (2012)
- [69] Pschyrembel W: Pschyrembel Klinisches Wörterbuch. de Gruyter. Berlin 2002.
- [70] Reinhold M, Knop C, Beisse R, Audigé L, Kandziora F, Pizanis A, Pranzl R, Gercek E, Schultheiss M, Weckbach A, Bühren V, Blauth M: Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Teil I: Epidemiologie. *Unfallchirurg* 112. 1. 33–45 (2009)
- [71] Reinhold M, Knop C, Beisse R, Audigé L, Kandziora F, Pizanis A, Pranzl R, Gercek E, Schultheiss M, Weckbach A, Bühren V, Blauth M: Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Teil II: Operation und röntgenologische Befunde. *Unfallchirurg* 112. 2. 149–167 (2009)
- [72] Reinhold M, Knop C, Beisse R, Audigé L, Kandziora F, Pizanis A, Pranzl R, Gercek E, Schultheiss M, Weckbach A, Bühren V, Blauth M: Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Teil III: Nachuntersuchung. *Unfallchirurg* 112. 3. 294–316 (2009)
- [73] Reinhold M, Knop C, Lange U, Bastian L, Blauth M: Nichtoperative Behandlung von Verletzungen der thorakolumbalen Wirbelsäule. Klinische Spätergebnisse nach 16 Jahren. *Unfallchirurg* 106. 7. 566–576 (2003)
- [74] Resch H, Rabl M, Klampfer H, Ritter E, Povacz P: Operative vs. konservative Behandlung von Frakturen des thorakolumbalen Übergangs. *Unfallchirurg* 103. 4. 281–288 (2000)
- [75] Rosner BA: *Fundamentals of biostatistics*. 516-587. Brooks/Cole. Boston, MA 2011.
- [76] Schnake KJ, Stavridis SI, Kandziora F: Five-year clinical and radiological results of combined anteroposterior stabilization of thoracolumbar fractures. *J Neurosurg Spine* 20. 5. 497–504 (2014)
- [77] Schober P: Lendenwirbelsäule und Kreuzschmerzen. *Munch Med Wochenschr* 84. 336–338 (1937)
- [78] Seifert-Klauss V, Laakmann J, Rattenhuber J, Höss C, Luppä P, Kiechle M: Knochenstoffwechsel, Knochendichte und Östrogenspiegel in der Perimenopause: eine prospektive 2-Jahres-Untersuchung. *Zentralbl Gynakol* 127. 3. 132–139 (2005)
- [79] Shawky A, Al-Sabroun AM, El-Meshtawy M, Hasan KM, Boehm H: Thoracoscopically assisted corpectomy and percutaneous transpedicular instrumentation in management of burst thoracic and thoracolumbar fractures. *Eur Spine J* 22. 10. 2211–2218 (2013)

- [80] Silva MJ, Wang C, Keaveny TM, Hayes WC: Direct and computed tomography thickness measurements of the human, lumbar vertebral shell and endplate. *Bone* 15. 4. 409–414 (1994)
- [81] Spiegl UJ, Hauck S, Merkel P, Bühren V, Gonschorek O: Langzeitergebnisse nach Hybridstabilisierung inkompletter Berstungsfrakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule des älteren Patienten. *Z Orthop Unfall* 150. 6. 579–582 (2012)
- [82] Stadhouders A, Buskens E, de Klerk LW, Verhaar JA, Dhert WA, Verbout AJ, Vaccaro AR, Oner FC: Traumatic thoracic and lumbar spinal fractures: operative or nonoperative treatment: comparison of two treatment strategies by means of surgeon equipoise. *Spine* 33. 9. 1006–1017 (2008)
- [83] Tasdemiroglu E, Tibbs PA: Long-term follow-up results of thoracolumbar fractures after posterior instrumentation. *Spine* 20. 15. 1704–1708 (1995)
- [84] Trojan E: Langfristige Ergebnisse von 200 Wirbelbrüchen der Brust- und Lendenwirbelsäule ohne Lähmung. *Z Unfallmed Berufserkr* 2. 122–134 (1972)
- [85] Verheyden AP, Hölzl A, Ekkerlein H, Gercek E, Hauck S, Josten C, Kandziora F, Katscher S, Knop C, Lehmann W, Meffert R, Müller CW, Partenheimer A, Schinkel C, Schleicher P, Schnake KJ, Scholz M, Ulrich C: Therapieempfehlungen zur Versorgung von Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule. *Unfallchirurg* 114. 1. 9–16 (2011)
- [86] Verlaan JJ, Diekerhof CH, Buskens E, van der Tweel, I, Verbout AJ, Dhert WJ, Oner FC: Surgical treatment of traumatic fractures of the thoracic and lumbar spine: a systematic review of the literature on techniques, complications, and outcome. *Spine* 29. 7. 803–814 (2004)
- [87] Wälchli B, Heini P, Berlemann U: Korrekturverlust nach dorsaler Stabilisierung von Berstungsfrakturen des thorakolumbalen Übergangs. Die Rolle der transpedikulären Spongiosaplastik. *Unfallchirurg* 104. 8. 742–747 (2001)
- [88] Weckbach A, Blattert TR: Aktuelle operative Verfahren bei Wirbelsäulenverletzungen, ihre Indikationen und Alternativen. *Trauma Berufskrankh* 2. Suppl 2. 243–248 (2000)
- [89] Whitesides TE: Traumatic kyphosis of the thoracolumbar spine. *Clin Orthop Relat Res.* 128. 78–92 (1977)
- [90] Wild MH, Glees M, Plieschnegger C, Wenda K: Five-year follow-up examination after purely minimally invasive posterior stabilization of thoracolumbar fractures: a comparison of minimally invasive percutaneously and conventionally open treated patients. *Arch Orthop Trauma Surg* 127. 5. 335–343 (2007)
- [91] Wolter D: Vorschlag für eine Einteilung von Wirbelsäulenverletzungen. *Unfallchirurg* 88. 481–484 (1985)
- [92] Yung AW, Thng PL: Radiological outcome of short segment posterior stabilisation and fusion in thoracolumbar spine acute fracture. *Ann Acad Med Singapore* 40. 3. 140–144 (2011)

Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei Prof. Dr. Neumann und Prof. Dr. Graßhoff für die Überlassung meines Dissertationsthemas bedanken.

Ein großes Dankeschön gilt vor allem meinem Doktorvater Herrn PD Dr. Konrad Mahlfeld, der immer ein offenes Ohr hatte und mich stets freundlich und kompetent betreute.

Herrn Prof. Dr. Dr. Hachenberg möchte ich für seine tatkräftige Unterstützung und Hilfestellung danken.

Ein weiteres Dankeschön ist an die Patienten gerichtet, die zu einer erneuten Nachuntersuchung nochmal den Weg in die Universitätsklinik fanden und somit diese Arbeit ermöglichten. Für die ausführliche Vorarbeit im Rahmen der ersten Nachuntersuchung möchte ich Herrn PD Dr. Mahlfeld meinen Dank aussprechen.

In diesem Zusammenhang bedanke ich mich auch bei dem Team der Orthopädischen Ambulanz und Herrn Tilo Krumbholz für die Unterstützung bei den Nachuntersuchungen und den Mitarbeiterinnen der Bibliothek der Orthopädischen Klinik für das Heraussuchen der vielen Akten.

Herrn Prof. Dr. Awiszus danke ich für die anregenden Gespräche und Hinweise.

Ein weiterer Dank gilt Frau Adolf von StatConsult für ihre Unterstützung bei der Statistik, aber auch Coco, der mir viele wichtige Hinweise und Kritik bezüglich meiner mathematischen Auswertung lieferte.

Danken möchte ich auch meinen Kollegen der Anästhesie, vor allem Sophia, Selinde und Conny, sie haben gemeinsam mit mir gefiebert und mich wenn nötig aufgebaut.

Nicht zuletzt gilt mein besonderer Dank meiner Familie, vor allem meinen Eltern und meinem geliebten Mann. Sie haben mir zu jeder Zeit zur Seite gestanden, mich mit ihren fachlichen und menschlichen Erfahrungen liebevoll unterstützt, mir in schwierigen Momenten Mut gemacht und Anregungen gegeben. Ich danke Tim, ohne deine aufbauende Liebe wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Erklärung

Ich erkläre, dass ich die der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität zur Promotion eingereichte Dissertation mit dem Titel

"Der klinische und radiologische Langzeitverlauf nach dorsaler Stabilisierung bei traumatischer Wirbelkörperfraktur"

in der Klinik für Orthopädie mit Unterstützung durch Herrn Privatdozent Dr. med. habil. Konrad Mahfeld, Chefarzt der Klinik für Orthopädie des Klinikum Magdeburg

ohne sonstige Hilfe durchgeführt und bei der Abfassung der Dissertation keine anderen als die dort aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Bei der Abfassung der Dissertation sind Rechte Dritter nicht verletzt worden.

Ich habe diese Dissertation bisher an keiner in- oder ausländischen Hochschule zur Promotion eingereicht. Ich übertrage der Medizinischen Fakultät das Recht, weitere Kopien meiner Dissertation herzustellen und zu vertreiben.

Magdeburg, den

Lebenslauf

Name: Anika Strupeit-Döbbelin, geb. Döbbelin

Geburtsdatum: 24.09.1983

Geburtsort: Haldensleben

Familienstand: verheiratet

Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulbildung:

1990 - 1994 Grundschule IV Haldensleben

1994 - 2003 Heinrich-Heine-Gymnasium Haldensleben

27.06.2003 Abitur

Studium:

2003 - 2009 Humanmedizin an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Berufliche Tätigkeiten:

seit 01.01.2010 Assistenzärztin an der Klinik für Anaesthesiologie und Intensivtherapie der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Stipendium:

2004 Aufnahme in die Studienstiftung des deutschen Volkes

Anlagen

Anlage 1: Anschreiben

UNIVERSITÄTSKLINIKUM MAGDEBURG A.ö.R.

Orthopädische Universitätsklinik

Direktor: Prof. Dr. med. W. Neumann



✉ Universitätsklinikum Magdeburg – A.ö.R.
Orthopädische Universitätsklinik * Leipziger Straße 44 * D-39120 Magdeburg

Sehr geehrte

Sie haben sich im Jahr wegen eines Wirbelbruches einer Operation an der Wirbelsäule in unserer Klinik unterziehen müssen.

Im ständigen Bemühen unsere Behandlungsergebnisse zu optimieren und auch um zu erfahren wie Sie ihr Operationsergebnis einschätzen, sind wir an Ihrem derzeitigen Gesundheitszustand sehr interessiert.

Deswegen möchten wir Sie zu einer persönlichen Nachuntersuchung einladen, auch um eventuelle Fragen ihrerseits zu beantworten.

Hierzu steht Ihnen folgender Termin zur Verfügung:

Bitte bringen Sie zur Untersuchung alle vorhandenen Röntgenbilder Ihrer Wirbelsäule mit, insbesondere auch die unmittelbar nach dem Unfall angefertigten Röntgenaufnahmen.

Sollten Sie an diesem Tag verhindert sein, bitten wir um Rückruf unter folgenden Rufnummern: 0391/6714022 oder 0391/6714011 oder 0177/9104512

Wir danken Ihnen sehr für Ihre Mithilfe.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. med. Graßhoff
Stellv. Klinikdirektor

PD Dr. med. Mahlfeld
Oberarzt

Anika Döbbelin

Privatsprechstunde
über Chefarztsekretariat
nach Vereinbarung
Tel.: (0391) 67-14000
Telefax: (0391) 67-14006

Anmeldung zu den
Ambulanz- und
Spezialsprechstunden:
Tel.: (0391) 67-14050

Ambulanz:
Montag – Donnerstag:
7:00 – 15:00
Freitag:
7:00 – 13:00

Spezialsprechstunden:

Endoprothetik
PD Dr. med. K. Mahlfeld
Dienstag 9:00 – 13:00

Kinderorthopädie
OA Dr. med. J.-Chr. Wolter
Dienstag 11:00 – 14:00

**Sportmedizin und
Leistungsdiagnostik**
OÄ Dr. med. H. Franke
Mittwoch 7:00 – 16:00

Stosswellentherapie:
OÄ Dr. med. M. Meyer
Mittwoch 7:30 – 9:00

Schultersprechstunde
PD Dr. med. G. Pap
Mittwoch 8:30 – 13:00

**Rheumatologie, Hand-
und Fußchirurgie**
OÄ Dr. med. K. Schenk
Mittwoch 9:00 – 12:00

Skoliosen
OÄ Dr. med. G. Wolf
Mittwoch 13:30 – 15:00

**Traumasprechstunde
(Knie)**
Dr. med. Chr. Stärke
Donnerstag 8:30 – 13:00

Wirbelsäulenchirurgie
OA Dr. med. J. Franke
Donnerstag 10:00 – 14:00

Tumorsprechstunde
OA Dr. med. M. Röpke
Freitag 8:00 – 13:00

Anlage 2: Fragebogen

Teil 1

Ruheschmerzen	Nie	
	Gelegentlich und vorübergehend nach schwerer körperlicher Anstrengung	
	Häufig und/oder anhaltend nach schwerer körperlicher Anstrengung	
	Gelegentlich und vorübergehend auch schon nach geringer körperlicher Anstrengung	
	Häufig und/oder anhaltend auch schon nach geringer körperlicher Anstrengung	
	Ständig	
Belastungsschmerzen	Nie	
	Gelegentlich und leicht bei schwerer körperlicher Anstrengung	
	Häufig und stark bei schwerer körperlicher Anstrengung	
	Gelegentlich und leicht auch schon bei geringer körperlicher Anstrengung	
	Häufig und stark auch schon bei geringer körperlicher Anstrengung	
	Ständig, invalidisierend	
"Rückengerechtes" Verhalten*	Nie	
	Gelegentlich	
	Häufiger	
	Ständig	

* Aufstehen über die Seite; in die Hocke gehen, um etwas aufzuheben, etc.

Medikamente	Nie	
	Gelegentlich Schmerzmittel.	
	Häufig Schmerzmittel,	
	Ständig	
Sitzen	Kein Problem	
	Leicht eingeschränkt, Beschwerden nach ca. 2 Stunden	
	Wesentlich eingeschränkt, Beschwerden nach ca. ½ Stunde	
	Nur kurz oder nur mit Hilfsmitteln möglich	
Vorbeugen	Kein Problem	
	Leicht eingeschränkt, gelegentlich schmerzhaft	
	Mäßig eingeschränkt	
	Wesentlich eingeschränkt, meist schmerzhaft, wird vermieden	
	Unmöglich	
Hochheben	Kein Problem auch bei schweren Gegenständen	
	Gering eingeschränkt, Heben schwerer Lasten wird vermieden	
	Wesentlich eingeschränkt, Heben schwerer Lasten unmöglich, Heben leichter Lasten wird vermieden	
	Unmöglich	

Teil 2 a

Stehen	Auch mehrere Stunden kein Problem	
	Nur ca. 2 Stunden möglich wegen Beschwerden und/oder Ermüdung	
	Nur ca. ½ Stunde möglich wegen Beschwerden und/oder Ermüdung	
	Nur kurz oder nur mit Hilfsmitteln möglich	
Gehen	Auch mehrere Stunden kein Problem	
	Nur ca. 2 Stunden möglich wegen Beschwerden und/oder Ermüdung	
	Nur ca. ½ Stunde möglich wegen Beschwerden und/oder Ermüdung	
	Nur kurz oder nur mit Hilfsmitteln möglich	
Rennen	Kein Problem	
	Kaum eingeschränkt	
	Deutlich eingeschränkt, aber möglich, wird vermieden	
	Unmöglich	
Tragen	Kein Problem auch bei schweren Lasten	
	Gering eingeschränkt nur bei schweren Lasten	
	Gering eingeschränkt auch schon bei leichten Lasten	
	Wesentlich eingeschränkt auch schon bei leichten Lasten	
	Unmöglich	

Teil 2 b

Rollstuhl fahren	Auch längere Strecken kein Problem, Überwinden von Bordsteinkanten problemlos	
	Beschwerden nach ca. 2 Stunden, Bordsteinkanten gelegentlich problematisch	
	Nur kürzere Strecken möglich, Bordsteinkanten werden vermieden	
	Unmöglich	
Aufrichten mit Rollstuhl	Kein Problem	
	Gelegentl. Probleme, geringe Hilfe nötig	
	Regelm. Probleme, geringe Hilfe nötig	
	Massive Hilfe nötig	
	Unmöglich	
Umsetzen vom Rollstuhl	Kein Problem, Autofahren alleine möglich	
	Gelegentlich Probleme	
	Regelm. Probleme, geringe Hilfe nötig	
	Massive Hilfe nötig, Autofahren alleine unmöglich	
	Unmöglich	
Ankleiden	Selbstständig einschließlich von Strümpfen und Schuhen ohne Probleme möglich	
	Mühsam, geringe Fremdhilfe nötig	
	Ohne Fremdhilfe unmöglich	

Beruflicher Status

Welche Einschränkungen haben Sie in Ihrem Beruf auch nach der Operation?

Tätigkeit im gleichen Beruf ohne Einschränkungen	ja / nein
Tätigkeit im gleichen Beruf mit Einschränkungen	ja / nein
Arbeitsplatzwechsel in leichtere Tätigkeit	ja / nein
Berentung	ja / nein
noch krankgeschrieben	ja / nein
arbeitslos	ja / nein