

Diplomarbeit

**Korrelation zwischen klinischem und
radiologischem Outcome nach perkutaner dorsaler
Stabilisierung und Kyphoplastie mit
Calciumphosphat von A3 und A4 Frakturen der
thorakalen und lumbalen Wirbelsäule**

eingereicht von

Kerstin Schwarzenbrunner

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktorin der gesamten Heilkunde
(Dr.in med. univ.)**

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Orthopädie und Traumatologie

unter der Anleitung von

Dr. med. univ. Nicolas Rene Eduard Eibinger

und

Priv.-Doz. Dr. med. univ. Paul Puchwein

Graz, 14.05.2020

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 14.05.2020

Kerstin Schwarzenbrunner eh

Danksagungen

Ein großer Dank gilt Dr. med. univ. Nicolas Rene Eduard Eibinger und Priv.-Doz. Dr. med. univ. Paul Puchwein, die mir ein derartig spannendes Diplomarbeitsthema ermöglicht haben und mir bei dieser Arbeit eine hervorragende Betreuung haben zukommen lassen.

Anschließend möchte ich mich noch bei meinen Eltern, Großeltern und Stiefeltern für die Unterstützung jeglicher Art danken, mit der mir das Studium ermöglicht wurde.

Schlussendlich möchte ich mich noch bei allen Freunden bedanken, die mir in den vergangenen fünf Jahren eine bedeutende Stütze waren und mir eine unvergessliche Studienzeit bereitet haben.

Zusammenfassung

Einleitung: Bei der operativen Versorgung von thorakalen und lumbalen Berstungsfrakturen sollten sowohl die ventrale als auch die dorsale Säule stabilisiert werden, um das bestmögliche Ergebnis zu erzielen. Bei der alleinigen Versorgung der ventralen Säule würde es zu Problemen bei der Reposition kommen, würde nur die dorsale Säule stabilisiert werden, drohen Korrekturverluste. Infolgedessen hat sich ein kombiniertes Verfahren aus Kyphoplastie und dorsaler Instrumentierung durchgesetzt, wobei mit einem minimalinvasiven dorsalen Zugang einzeitig beide Säulen versorgt werden können. Als Knochenersatzmaterial könnte nun mit Calciumphosphat eine relativ neuartige Alternative zum oft verwendeten, jedoch mit noch einigen Nebenwirkungen behafteten PMMA Zement gefunden worden sein. In dieser Arbeit wurden die Repositionsverluste der PatientInnen nach dieser Hybridoperation dokumentiert und den funktionellen Ergebnissen gegenübergestellt, um eine etwaige Korrelation zwischen radiologischem und klinischem Outcome zu finden.

Material und Methoden: Es konnten 51 PatientInnen mit A3 oder A4 Frakturen nachuntersucht werden, die zwischen 2010 und 2018 an der Univ.- Klinik für Orthopädie und Traumatologie Graz mit dorsaler Stabilisierung und Kyphoplastie mit Calciumphosphat versorgt wurden. Zur radiologischen Auswertung wurden präoperativ, postoperativ, vor der Metallentfernung, sowie mindestens 6 Monate nach Metallentfernung die Höhe des Wirbelkörpers an der Vorderkante, der Mitte und Hinterkante, sowie der bisegmentale Kyphosewinkel nach Cobb vermessen. Zur Evaluierung der funktionellen Ergebnisse wurden der Oswestry Disability Index (ODI) erhoben und der Korrelationskoeffizient zwischen den Repositionsverlusten und dem ODI Score errechnet.

Ergebnisse: Im Durchschnitt kam es zwischen postoperativem Ergebnis und Endergebnis zu einem relativen Höhenverlust von 6,2% an der Vorderkante, 2,9% an der Wirbelkörpermitte und 1,2% an der Hinterkante. Der Kyphosewinkel nahm im Durchschnitt wieder um 5,9° zu. Es zeigte sich zwischen ODI und Höhenverlust an der Vorderkante bzw. Wirbelkörpermitte ein gerundeter Korrelationskoeffizient von 0,0. Zwischen ODI Score und Hinterkantenhöhenverlust bzw. Kyphosewinkel

beträgt der Koeffizient gerundet -0,2. Somit konnte kein Zusammenhang zwischen klinischen und radiologischen Ergebnissen gefunden werden.

Schlussfolgerung: Das minimalinvasive Verfahren von Kyphoplastie mit Calciumphosphat kombiniert mit dorsaler Stabilisierung nach Frakturen der thorakalen und lumbalen Wirbelsäule zeigt zufriedenstellende radiologische und klinische Ergebnisse, jedoch konnte zwischen diesen zwei Parametern keine Korrelation gefunden werden.

Abstract

“Correlation between clinical and radiological outcome after percutaneous dorsal stabilization and kyphoplasty with calcium phosphate cement of A3 and A4 fractures of the thoracic and lumbar spine.”

Introduction: In order to treat burst fractures of the thoracic and lumbar spine sufficiently, the surgeon has to address the ventral and the dorsal column of the spine. The sole stabilization of the ventral column would lead to problems with reposition, the sole treatment of the dorsal column would result in loss of correction. Hence a combined treatment consisting of kyphoplasty and dorsal instrumentation through a minimally invasive percutaneous access has made treating both columns possible. The PMMA bone cement, which is often used for kyphoplasty but has also many disadvantages, could get replaced by the relatively new bone substitute calcium phosphate. This study patients treated with this hybrid technique were followed- up, their loss of correction was documented, and their clinical outcome was juxtaposed in order to find potential correlation.

Materials and Methods: 51 patients who had a A3 or A4 fracture and underwent kyphoplasty with calcium phosphate and dorsal instrumentation between 2010 and 2018 at the Department of Orthopaedics and Trauma Graz were included in this study. The height of their vertebral body and the bisegmental kyphosis angle were measured before the operation, afterwards, before the implant removal and at least 6 months after the removal in order to get radiological results. Afterwards the clinical outcome was measured by the Oswestry Disability Index (ODI) and the correlation coefficient between the ODI score and the losses of correction was calculated for the purpose of finding a potential correlation.

Results: there was an average loss of correction between the postoperative and the final results of 6.2% at the ventral edge of the vertebrae body, 2.9% at the center and 1.2% at the posterior edge. The kyphosis angle regained about 5.9° on average. The correlation coefficient between the ODI score and the loss of correction at the ventral edge was 0.0 such as with the loss at the center. A coefficient of -0.2 was calculated between the ODI score and the loss at the posterior edge, as well as with the kyphosis angle. In conclusion no correlation was found between clinical and radiological outcome.

Conclusion: the minimally invasive treatment of thoracic and lumbar spine fractures through kyphoplasty with calcium phosphate combined with dorsal stabilization shows good radiological and functional results however no correlation between these parameters could be found.

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNGEN	II
ZUSAMMENFASSUNG	III
ABSTRACT	V
GLOSSAR UND ABKÜRZUNGEN	IX
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	X
TABELLENVERZEICHNIS.....	XI
1 EINLEITUNG.....	1
1.1 ANATOMIE DER WIRBELSÄULE.....	1
1.1.1 <i>Allgemeiner Aufbau</i>	1
1.1.2 <i>Aufbau eines Wirbels</i>	2
1.1.3 <i>Die Brustwirbelsäule</i>	3
1.1.4 <i>Die Lendenwirbelsäule</i>	4
1.1.5 <i>Die Bandscheiben</i>	4
1.1.6 <i>Bänder der Wirbelsäule</i>	5
1.1.7 <i>Gelenke der Wirbelsäule</i>	7
1.1.8 <i>Bewegungsfreiheiten und Wirbelsäulenkrümmungen</i>	8
1.1.9 <i>Orientierungshilfen an der Wirbelsäule</i>	10
1.2 FRAKTUREN	12
1.2.1 <i>Frakturen an der BWS und LWS</i>	12
1.2.1.1 <i>Klassifikation traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule</i>	13
1.2.1.2 <i>Diagnostik</i>	19
1.2.1.3 <i>Differentialdiagnosen</i>	27
1.3 THERAPIE	28
1.3.1 <i>Konservative Therapie</i>	28
1.3.2 <i>Operative Therapie</i>	29
1.3.2.1 <i>Zugangswege</i>	30
1.3.2.2 <i>Kyphoplastie</i>	31
1.3.2.3 <i>Minimalinvasive dorsale Stabilisierung</i>	32
1.3.2.4 <i>Kombinierte Operationstechnik</i>	34
1.3.2.5 <i>Nachbehandlung</i>	40
1.4 KNOCHENERSATZSTOFFE	40
1.4.1 <i>PMMA Zement</i>	41
1.4.2 <i>Calciumphosphatzement</i>	41
2 MATERIAL UND METHODEN.....	44

2.1	STUDIENDESIGN.....	44
2.2	EIN- UND AUSSCHLUSSKRITERIEN.....	45
2.3	RADIOLOGISCHE AUSWERTUNG.....	45
2.4	KÖRPERLICHE BEEINTRÄCHTIGUNG, OSWESTRY DISABILITY INDEX.....	47
2.5	STATISTISCHE AUSWERTUNG.....	48
3	ERGEBNISSE	50
3.1	PATIENTINNEN.....	50
3.2	FRAKTURLOKALISATION UND KLASSIFIKATION.....	50
3.3	RADIOLOGISCHE ERGEBNISSE.....	52
3.4	OSWESTRY DISABILITY INDEX.....	56
3.5	KOMPLIKATIONEN.....	58
3.6	KORRELATION ZWISCHEN RADIOLOGISCHEM UND FUNKTIONELLEM OUTCOME.....	58
4	DISKUSSION	62
5	LITERATURVERZEICHNIS.....	66
	ANHANG – PRÜFPROTOKOLL	70
	ANHANG – FRAGEBOGEN „OSWESTRY DISABILITY INDEX“	71

Glossar und Abkürzungen

a.p.	anterior – posterior = vorne – hinten
ASIA	American Spinal Injury Association
BWK/BWS	Brustwirbelkörper/Brustwirbelsäule
bzw.	beziehungsweise
CaPh	Calciumphosphat
CT	Computertomographie
ggf.	gegebenenfalls
HWK/S	Halswirbelkörper/Halswirbelsäule
L	lumbales Segment
lat.	Lateinisch
Lig./Ligg.	<i>lat.</i> Ligamentum (Band) / <i>lat.</i> Ligamenta (Bänder. Plural)
LWK/LWS	Lendenwirbelkörper/Lendenwirbelsäule
MEX	Metallentfernung
ml	Milliliter
MRT	Magnetresonanztomographie
ODI	Oswestry Disability Index
OP	Operation
PMMA	Polymethylmethacrylat
post-op	nach der Operation
Proc./Procc.	<i>lat.</i> Processus (Fortsatz) / <i>lat.</i> Processus (Fortsätze. Plural)
PLC	posterior ligamentous complex (hinterer Bandapparat)
SD	Standardabweichung
Th	thorakales Segment
WK	Wirbelkörper

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: AOSpine KLASSEIFIKATION	17
ABBILDUNG 2: SCHOBER UND OTT-ZEICHEN (8)	24
ABBILDUNG 3: ASIA SCORE	25
ABBILDUNG 4: PEDIKELINTRITTS PUNKT AN DER BWS BZW. LWS (25)	36
ABBILDUNG 5: INTRAOPERATIVE LAGE DER KYPHOPLASTIEBALLONE	37
ABBILDUNG 6: ERÖFFNEN DES KAUDALEN PEDIKELS	38
ABBILDUNG 7: INTRAOPERATIVES ABSCHLUSSRÖNTGEN	39
ABBILDUNG 8: MESSUNG DER WIRBELKÖRPERHÖHE	46
ABBILDUNG 9: MESSUNG DES COBB-WINKELS	47
ABBILDUNG 10: TEILNEHMERINNENANZAHL UND ALTER	50
ABBILDUNG 11: HÄUFIGKEIT VERSCHIEDENER FRAKTURKLASSIFIKATIONEN	51
ABBILDUNG 12: FRAKTURLOKALISATION 1	51
ABBILDUNG 13: FRAKTURLOKALISATION 2	52
ABBILDUNG 14: ERGEBNISSE DER WIRBELKÖRPERHÖHE	53
ABBILDUNG 15: VERLAUF DES KYPHOSEWINKELS	54
ABBILDUNG 16: OSWESTRY DISABILITY INDEX ERGEBNISSE	57
ABBILDUNG 17: GESCHLECHTERVERTEILUNG BEIM ODI INDEX	57
ABBILDUNG 18: KORRELATION ZWISCHEN ODI UND KORREKTURVERLUST WIRBELKÖRPERVORDERKANTE	59
ABBILDUNG 19: KORRELATION ZWISCHEN ODI UND KORREKTURVERLUST WIRBELKÖRPERMITTE	59
ABBILDUNG 20: KORRELATION ZWISCHEN ODI UND KORREKTURVERLUST HINTERKANTE	60
ABBILDUNG 21: KORRELATION ZWISCHEN ODI UND KORREKTURVERLUST KYPHOSEWINKEL	60

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: SÄULENMODELL.....	14
TABELLE 2: KOMPRESSIONSFRAKTUREN.....	15
TABELLE 3: DISTRAKTIONSVERLETZUNGEN	15
TABELLE 4: NEUROLOGISCHE DEFIZITE	16
TABELLE 5: KLINISCHE MODIFIKATOREN.....	16
TABELLE 6: KRAFTGRADE.....	21
TABELLE 7: RELATIVE WIRBELKÖRPERHÖHE IN %.....	52
TABELLE 8: STATISTISCHE GESAMTAUSWERTUNG DER RADIOLOGISCHEN PARAMETER.....	56
TABELLE 9: ÜBERSICHTSTABELLE KORRELATION NACH SPEARMAN UND DAZUGEHÖRIGE SIGNIFIKANZ.....	61

1 Einleitung

1.1 Anatomie der Wirbelsäule

Die Wirbelsäule (columna vertebralis) gehört mit den Rippen und dem Brustbein zum Rumpfskelett und bildet somit die Grundlage des Stammes. Sie bietet einerseits Halt und Stütze für den Rumpf andererseits ermöglicht sie auch Beweglichkeit. Des Weiteren schützt sie das Rückenmark und seine Häute, welche im Wirbelkanal zu finden sind. (1-3)

1.1.1 Allgemeiner Aufbau

Zur Wirbelsäule gehören 24 Wirbelkörper und 23 Zwischenwirbelscheiben (Bandscheiben, Disci intervertebrales), die miteinander durch kräftige Bänder und einer Vielzahl an Muskeln passiv und aktiv stabilisiert wird.

Die Wirbelsäule wird von kranial nach kaudal in verschiedene Abschnitte eingeteilt:

- Halswirbelsäule mit 7 Wirbeln (C1-C7)
- Brustwirbelsäule mit 12 Wirbeln (Th1-Th12), wo die Rippen ansetzen
- Lendenwirbelsäule mit 5 Wirbeln (L1-L5)
- Kreuzbein (Os sacrum), welches mit dem Beckenknochen eine Verbindung eingeht
- Und Steißbein (Os coccygis), welches entwicklungsgeschichtlich ein Rudiment der Schwanzwirbelsäule ist

Da das Kreuz- und das Steißbein aus jeweils fünf zusammen verschmolzenen Kreuz- bzw. Steißwirbeln bestehen, nennt man diese auch als „falsche Wirbel“ wohingegen die kranial des Kreuzbeins liegenden Wirbel als „echte/präsakrale Wirbel“ bezeichnet werden. (1-3)

1.1.2 Aufbau eines Wirbels

Trotz unterschiedlicher Größen in den jeweiligen Abschnitten ist der allgemeine Aufbau eines präsakralen Wirbels bis auf den 1. und 2. Halswirbel weitestgehend ident. Auf den Aufbau der Halswirbelsäule wird aus Gründen der Relevanz verzichtet.

Ein Wirbel besteht aus einem ventral gelegenen Wirbelkörper (Corpus vertebrae) von dem aus dorsal ein Wirbelbogen (Arcus vertebrae) entspringt und sich ventral aus zwei Wurzelanteilen (Pediculi arcus vertebrae) und dorsal aus zwei Laminae arcus vertebrae zusammensetzt. Das Corpus besteht aus einer dünnen und kompakten Außenschicht (Kortikalis) und einer dichten inneren Spongiosa. Seine kranialen und kaudalen Endplatten sind im zentralen Teil porös, am Rand besteht er jedoch aus festem Knochen, weswegen der Rand auch als Randleiste bezeichnet wird.

Der dorsale Abschnitt des Wirbelkörpers bildet mit dem angrenzenden Wirbelbogen das Wirbelloch (Foramen vertebrale). Alle Wirbellöcher der gesamten Wirbelsäule bilden den einen Kanal, welcher das Rückenmark und die dazugehörigen Venen und Arterien beinhaltet und als Spinalkanal (Canalis vertebralis) bezeichnet wird. Am Pediculus befindet sich kranial eine leichte Einkerbung (Incisura vertebralis superior) und kaudal eine tiefe Einkerbung (Incisura vertebralis inferior). Betrachtet man diese Einkerbungen nun von der Seite in ihrer Gesamtheit, so erkennt man die gebildeten Löcher zwischen den angrenzenden Wirbeln. Diese werden Foramina intervertebralia genannt, nehmen von kranial nach kaudal an Größe zu und ermöglichen den Spinalnerven (Nervi spinales) den Austritt in die Peripherie.

Am Wirbelbogen befindet sich jeweils links und rechts ein Querfortsatz (Proc. transversus) und kaudal setzen sich die Laminae arcus vertebrae in einen Dornfortsatz (Processus spinosus) fort. Diese Fortsätze dienen diversen Bändern und Muskeln als Insertionsstelle.

Des Weiteren besitzt ein Wirbel dorsal des Pedikels vier überknorpelte Gelenkfortsätze (Procc. articulares superior und inferior) mit denen er mit seinen beiden Nachbarswirbeln eine gelenkige Verbindung eingehen kann. Diese Gelenke werden Articulationes zygapophysiales genannt und sind mit den Bandscheiben maßgeblich am Bewegungsumfang der Wirbelsäule beteiligt. Deren

Winkel zueinander variieren je nach Wirbelsäulenabschnitt und ermöglichen abschnittsspezifische Bewegungsausmaße.

Die Größe der Wirbelkörper nimmt aufgrund der zunehmenden axialen Belastung nach kaudal stetig zu, während die Wirbellöcher immer kleiner werden. (1-4)

1.1.3 Die Brustwirbelsäule

Die Brustwirbelsäule (BWS) besteht aus 12 Wirbeln, dessen Endplattenabstand ventral kleiner als dorsal ist. Ihre Körper werden nach kaudal hin höher und breiter, die Foramina vertebrales sind rund und kleiner als in der HWS. Die Processus spinosi sind lang und zeigen nach kaudal sodass die Spitzen der Dornfortsätze auf der Höhe des kaudalen Nachbarwirbels befinden. Lediglich die letzten drei Dornfortsätze steigen nicht ab. Dadurch ergibt sich eine für die BWS typische dachziegelartige Überlagerung, was bei einer klinischen Tastuntersuchung zu berücksichtigen ist.

Deren obere Gelenkflächen (Procc. articularis superior) weisen nach dorsal und komplementär dazu die unteren (Procc. articularis inferior) nach ventral. Beide zeigen jedoch mehr nach frontal und sind von einer strafferen Kapsel als die HWS umgeben.

Die Brustwirbelsäule ist mit 12 Rippenpaaren gelenkig verbunden und bildet dadurch gemeinsam mit dem Brustbein den Brustkorb (Thorax). Dadurch besitzen die Copora vertebrae des 2. – 9. Brustwirbels seitlich zwei Gelenkflächen (Fovea costalis superior und inferior) die gemeinsam mit den Nachbarsgelenkflächen und den Bandscheiben eine vollwertige Gelenkpfanne bilden und mit einem Rippenkopf artikulieren. Der erste Brustwirbel (Th1) hat kranial eine ganze eigene Gelenkpfanne und kaudal, so wie die restlichen 8 Wirbel, eine Halbe. Th10 besitzt nur kranial eine halbe Gelenkfläche. Th11 und Th12 haben eine komplette Gelenkpfanne, welche sich jedoch mittig beziehungsweise nicht so weit kranial befindet (Fovea costalis).

Die Querfortsätze der oberen BWS deuten stark nach lateral, die der unteren immer mehr nach dorsal wodurch genügend Platz für die vielen Gelenkflächen und Querfortsätze ist. Die Procc. transversi von Th1 – Th10 tragen eine Fovea

costalis transversalis wodurch eine gelenkige Verbindung mit dem Rippenhöckerchen (Tuberculum costae) möglich ist. (2,3)

1.1.4 Die Lendenwirbelsäule

Betrachtet man die kräftigen Lendenwirbelkörper in der axialen Ebene erkennt man seine querovale Form und ihr nahezu dreieckiges Wirbelloch. Deren Dornfortsätze sind hoch, horizontal nach hinten gerichtet und beidseits abgeplattet. Die LWS hat als Rippenrudimente die Processus costales und sind nicht die eigentlichen Querfortsätze. Deren Processus transversus setzt sich hier aus dem Proc. accessorius, der sich am vorderen Wurzelbereich Proc. costalis befindet, und dem Proc. mamillaris, den man am Proc. articularis superior findet, zusammen. Sie dienen unter anderem dem Ansatz der autochthonen Rückenmuskulatur.

Die Gelenkflächen sind nahezu sagittal und senkrecht ausgerichtet. Die oberen Gelenkflächen sind leicht konkav und nach medial, die unteren komplementär dazu konvex und nach lateral gerichtet. Diese sagittale Ausrichtung ermöglicht zwar einerseits die Aufnahme von sagittalen Schubkräften und eine gute Flexion und Extension, schränkt jedoch die Drehung und Seitneigung massiv ein.

Der 5. Lendenwirbelkörper ist als einzige Ausnahme in der sagittalen Ansicht keilförmig und ventral höher als dorsal. (1-3,5)

1.1.5 Die Bandscheiben

Die im menschlichen Körper vorkommenden 23 Bandscheiben (Disci intervertebrales, Zwischenwirbelscheiben) sind in ihrer sagittalen Form konisch und befinden sich jeweils zwischen zwei benachbarten Wirbelkörpern (mit Ausnahme zwischen C1 und C2). Im Gegensatz zum Brustwirbelsäulenbereich, wo die Bandscheiben dorsal höher sind als ventral, sind sie in der Halswirbel- und Lendenwirbelsäule ventral höher, um so die natürlichen Krümmungen der Wirbelsäule stabilisieren zu können. Die Dicke der Zwischenwirbelscheiben nimmt von kranial nach kaudal zu.

An der Wirbelsäule längsverlaufende Bänder (Ligg. longitudinales anteriores und posteriores) stabilisieren die Bandscheiben und halten sie an ihren Plätzen, indem das vordere Band locker und das hintere Band stark und flächenhaft mit ihnen verwachsen ist.

Sie bestehen aus einem äußeren Faserring (Anulus fibrosus) und einem inneren gallertartigen Kern (Nucleus pulposus). Der Ring besteht aus konzentrisch angeordneten Lagen von kollagenen Faserbündeln, dessen Faserrichtungen aufgrund unterschiedlicher Steigungswinkel scherenartig gekreuzt sind. Dadurch wird einerseits der Nucleus pulposus immer auf Spannung gehalten, andererseits erfolgt eine suffiziente Verbindung der Bandscheiben mit den Randleisten der benachbarten Wirbel. Der Gallertkern besteht aus wasserbindenden Glykosaminoglykanen und wirkt als druckelastisches Polster. Bei Belastung gibt dieser Wasser in seine Umgebung ab und es zu einer reversiblen Höhenminderung der Wirbelsäule um bis zu drei Zentimetern. Bei Entlastungsphasen, wie dem Liegen, kann er aus subchondralen Gefäßen der Knochenmarksräume die zuvor abgegebene Flüssigkeit wieder zurückgewinnen. An den Endplatten der Wirbelkörper befindet sich im zentralen Bereich (Facies intervertebralis) eine kompakte Knochenstruktur, die siebartig von Poren durchsetzt ist. Hier liegt die Bandscheibe mit ihrem Nucleus und dem inneren Teil des Anulus auf. Der Knochen ist von einer hyalinen Knorpelschicht überzogen und durch die Poren haben die Gefäße der Knochenmarksräume eine Verbindung zu der Bandscheibe und können diese dann mit Nähr- und Sauerstoff versorgen. Somit tragen die Zwischenwirbelscheiben maßgeblich am Aufbau der Wirbelsäule, dessen passive Teilnahme an der Mobilität und an der Druckverteilung auf die Endplatten der benachbarten Wirbelkörper bei. (1-3,6)

1.1.6 Bänder der Wirbelsäule

Grundsätzlich wird unterschieden zwischen Bändern, die die Wirbelkörper miteinander verbinden, und Bändern, die sich zwischen den Wirbelbögen spannen. (2)

Als Wirbelkörperbänder werden das Lig. longitudinale anterius und posterius bezeichnet, welche an der Aufrechterhaltung der Eigenform der Wirbelsäule beteiligt sind. Das Lig. longitudinale anterius beginnt ventral am Processus anterius des Atlas und erstreckt breitbasig sich über die gesamte Vorderfläche der Wirbelsäule und reicht bis zum Kreuzbein. Dieses Band ist zwar fest mit den Wirbelkörpern bzw. dessen Randleiste verbunden, jedoch an den Bandscheiben nur lockern anliegend. Das Lig. longitudinale posterius ist schmaler und zieht von der Schädelbasis über die Dorsalseiten der Wirbelkörper bis hin zum Sakralkanal. Es besteht aus einer tiefen und oberflächlichen Schicht, wobei sich zwischen diesen beiden ein kleiner Spaltraum zum Durchtritt der aus den Wirbelkörpern austretenden Venen befindet. Befestigt ist es hauptsächlich an den Bandscheiben und den dazugehörigen Endplatten. Trotz der guten Befestigung dorsal am Anulus fibrosus ist der laterale Bandscheibenbereich kaum durch Bänder verstärkt bzw. stabilisiert, wodurch diese Stellen prädestiniert für laterale Bandscheibenvorfälle sind. (1-3)

Zu den Wirbelbogenbändern gehören:

- Ligamenta flava: Da der Hauptbestandteil dieser Bänder elastische Fasern sind, erscheinen sie makroskopisch gelb. Sie sind kräftige und dicke Bänder und verlaufen zwischen den Laminae arcus vertebrae der benachbarten Wirbelbögen wodurch sie dorsal bis nach medial den Wirbelkanal begrenzen. Da sie bereits in der Ruheform der Wirbelsäule gespannt sind, können sie bei einer Ventralflexion Energie speichern und dadurch beim Rückführen die Rückenmuskulatur passiv unterstützen und zusätzlich eine Vorwärtsneigung verhindern.
- Ligamenta intertransversaria: Diese Bänder haben eine runde Erscheinungsform und spannen sich zwischen den benachbarten Spitzen der Querfortsätze auf.
- Ligamenta interspinalia: Durch die Verbindung der benachbarten Dornfortsätze und seinem schrägen und nach hinten, oben gerichteten Verlauf sichert es die Wirbel gegen eine Dorsalverschiebung.
- Ligamentum supraspinale: Sein Verlauf erstreckt sich vom dorsalen Aspekt des Dornfortsatzes des 7. Halswirbels bis zum Kreuzbein.

- Ligamentum nuchae: Dieses Band heißt übersetzt Nackenband und verläuft von der Protuberantia occipitalis externa bis zum Dornfortsatz von C7. Seine sagittale Einstellung dient als Muskelansatz und zwischen C2 und C6 spannt sich ein Muskelseptum das mit dem Lig. supraspinale verwachsen ist.

(1-3)

1.1.7 Gelenke der Wirbelsäule

- Articulationes zygapophysiales: werden auch Zwischenwirbelgelenke oder Wirbelbogengelenke genannt. Sie sind Verbindungen zwischen den Processus articulares der benachbarten Wirbeln, wobei ihre Gelenkkapseln von kranial nach kaudal immer straffer werden. Abhängig von der Stellung dieser Gelenkflächen zur Horizontalen ist das Bewegungsausmaß in den einzelnen Segmenten größer oder geringer.
- Articulatio lumbosacralis: hierbei ist der 5. Lendenwirbelkörper mit dem Kreuzbein gelenkig verbunden. Das Lig. iliolumbale zwischen Crista iliaca und den Procc. costales von L4 – 5 schützt das Gelenk bei Beugung und Rotation vor Überlastung.
- Articulatio sacrococcygea: ein echtes Gelenk zwischen dem Kreuz- und Steißbein.
- Articulatio atlantooccipitalis: ein Eigenlenk zwischen dem Os occipitale und dem 1. Halswirbel mit schlaffen Gelenkkapseln. Es liegt eine gute Bandsicherung dieses „oberen Kopfgelenkes“ vor und es sind geringe Seitwärtsneigungen und Vor- und Rückwärtsbewegungen möglich.
- Articulationes atlantoaxiales: es handelt sich hier um die Kombination aus vier Teilgelenken (Artt. atlantoaxiales laterales und Art. atlantoaxialis mediana), die das untere Kopfgelenk und funktionell ein Drehgelenk ergeben. Die Drehachse verläuft hierbei durch den Dens axis und eine Kopfdrehung von bis zu 40° pro Seite sowie eine Seitneigung sind möglich.

(1,3)

1.1.8 Bewegungsfreiheiten und Wirbelsäulenkrümmungen

Als kleinste Bewegungseinheit der Wirbelsäule wurde das Bewegungssegment definiert. Es besteht aus den paarigen Zwischenwirbelgelenken der Nachbarswirbel, der dazwischen liegenden Bandscheibe sowie den zugehörigen Muskeln und Bändern dieser Einheit. Eine Bewegungseinheit alleine hat einen geringen Bewegungsumfang, mit Ausnahme von C1 und C2. Erst die Summe aller 25 Bewegungseinheiten ergibt eine große Beweglichkeit der Wirbelsäule. Der Bewegungsumfang ist jedoch von Mensch zu Mensch unterschiedlich und von Alter, Geschlecht, Konstitutionstyp, Lebensgewohnheiten, usw. abhängig. Man unterscheidet unterschiedliche Bewegungen in verschiedenen Ebenen:

- In der Frontalebene ist eine Seitwärtsneigung (Lateralflexion) um gesamt bis zu 80° möglich. Diese ist in der BWS und HWS am besten möglich, wird aber vor allem durch die auf einer Seite annähernden Rippen limitiert.
- In der Horizontalebene passiert die (Ver-)Drehung der Wirbelsäule (Rotation, Torsion) um insgesamt 90°. Die Bewegungsfreiheit ist am unteren Kopfgelenk am höchsten, nimmt dann nach kaudal ab und ist in der LWS kaum noch möglich. Ermöglicht wird dies durch akkumulierte Rotation in den Zwischenwirbelgelenken. Je nach Stellung deren Gelenkfläche und dessen Gelenkkapselspannung ändert sich die Art und das Ausmaß der Bewegungen in den jeweiligen Abschnitten. An der HWS sind die Gelenkflächen der Artt. zygapophysiales plan, 30-50° gegen die Horizontale geneigt und von einer lockeren Kapsel umhüllt. Dies macht sie zum beweglichsten Abschnitt der Wirbelsäule. Da die Stellung der Zwischenwirbelgelenken in der LWS weitestgehend sagittal ist, ist seine Beweglichkeit in der Horizontalebene am meisten eingeschränkt und beträgt nur um die 5°.
- Die dritten Ebene ist die Sagittalebene, wo eine Vorwärtsneigung (Ventralflexion, Inklination) und eine Rückwärtsneigung (Dorsalflexion, Reklination) beobachtbar ist. Vor allem die HWS und LWS haben ein hohes Ausmaß an Beweglichkeit zu verzeichnen, wobei die LWS noch besser ventral als dorsal flektieren kann, da bei der Vorbeugung die lordotische Krümmung aufgehoben wird und bei der Rückbeugung verstärkt wird. Die

Dorsalflexion ist vor allem zwischen den unteren Halswirbeln, BWK11 – LWK2 und den unteren Lendenwirbeln stark. Dadurch passieren in diesen Abschnitten häufiger Schädigungen durch Überbelastung als in anderen. Die BWS wird bei der Dorsalflexion durch die dachziegelartig angelagerten Procc. spinosi blockiert und kann daher besser nach ventral flektieren. Eine mögliche Ventralflexion von insgesamt 110° mit dem Ausmaß der Dorsalflexion (30°) ergeben eine Gesamtbeweglichkeit der Wirbelsäule in der Sagittalebene von 140° .

(1-3)

Betrachtet man die Wirbelsäule eines gesunden Erwachsenen in seiner Gesamtheit von der Seite, sieht man ihre charakteristischen und physiologischen Krümmungen und erkennt eine Doppel-S-Form. Dies ist nötig, um ihre federnden bzw. elastischen Eigenschaften zu ermöglichen. Die zwei nach ventral konvexen Krümmungen werden Lordose genannt und finden sich in der Hals- und Lendenwirbelsäule. Konträr dazu gibt es zwei nach dorsal konvexe Krümmungen in der Brustwirbelsäule und im Kreuzbein (Kyphose).

Zu Lebensbeginn sind diese Krümmungen jedoch noch kaum ausgeprägt. Erstmalig angeregt werden sie in Bauchlage beim Anheben des Säuglingskopfes. Durch das spätere Gehen und Stehen werden die BWS und LWS in ihren Krümmungen geformt. Seine endgültige Form erhält sie in der Pubertät. Aufrechterhalten werden diese Krümmungen durch die Form der Wirbel, der Zwischenwirbelscheiben und die Eigenspannung seines Bandapparates. Da die Bandscheiben jedoch im Laufe des Lebens einen Höhenverlust erleiden und die Bänderspannung bzw. der Muskeltonus nachlässt, können die Krümmungen im Alter verstärkt werden.

Bei den Übergangsstellen zwischen den zwei Krümmungsformen kommt es zu besonders starken Belastungen und sind daher prädestiniert für Wirbelsäulenerkrankungen Bandscheibenvorfälle und Frakturen. Vor allem zwischen der Lendenlordose und der Sakralkyphose kommt ein auffällig großer Winkel vor. Der sogenannte Lumbosakralwinkel wird zwischen der Achse des 5. LWK und dem 1. Sakralwirbel gemessen und beträgt durchschnittlich 143° . Dieser große Winkel ist durch die Aufrichtung des Menschen zum Gehen entstanden. Da das Kreuzbein ein fester Bestandteil des Beckens ist, hat es nur teilweise an der

Aufrichtung der Wirbelsäule teilgenommen. Die Kante des 1. Sakralwirbels wird als Promontorium bezeichnet, reicht in das Becken hinein und engt diesen Raum ein.

Wird bei der Wirbelsäule jedoch in der Frontalebene eine Krümmung beobachtet, spricht man je nach Ausprägung bei der leichten Form von einer „Skoliosehaltung“ und im späteren Verlauf von einer „echten Skoliose“. Hierbei ist die Wirbelsäule oftmals durch Haltungsschwächen, Fehlbelastungen, oder angeborenen Anomalien, seitlich verkrümmt und in Rotationsfehlstellung. (1-3,7)

1.1.9 Orientierungshilfen an der Wirbelsäule

Um sich bei der klinischen Untersuchung an der Wirbelsäule orientieren zu können, bedarf es der Kenntnis einiger Landmarken.

Der 7. Halswirbel trägt den Namen „Vertebra prominens“ zurecht, denn mit seinem prominent tastbaren Dornfortsatz ist dieser Wirbel am leichtesten von allen zu lokalisieren. Dazu startet die untersuchende Person an der Schädelbasis mit dem Beginn der Wirbelsäule und geht nach kaudal vor bis er auf einen markanten Knochenvorsprung trifft.

Unterhalb dieses Wirbels lässt sich median eine Rückenrinne bis erkennen, da an diesen Procc. spinosi das Subkutangewebe fixiert ist. Diese Rinne verläuft nach kaudal beim Mann in das Sakraldreieck, welches durch die beiden hinteren oberen Darmbeinstacheln (Spinae iliacae posteriores superiores) und dem Beginn der (Afterfurche) Crena ani begrenzt ist. Bei der Frau hingegen gelangt man am Ende der Rinne zur Michaelis Raute, dessen Begrenzung ident wie das Sakraldreieck ist und als vierten und neuen Begrenzungspunkt den Proc. spinosus des 4. LWK hat. Die Form dieser Raute ist vor allem in der Geburtshilfe von Bedeutung, da man durch sie Rückschlüsse auf die Breite des Beckens ziehen kann.

Die Schultergräte (Spina scapulae) lässt sich als harten Vorsprung zwischen dem M. supraspinatus und M. infraspinatus ertasten. Sollte die untersuchende Person dabei Schwierigkeiten haben, kann er auch vom Akromion entlang des Knochenvorsprungs bis zum medialen Rand des Schulterblattes vorgehen. Hat er auf beiden Seiten den medialen Rand gefunden, so legt er eine horizontale Verbindungslinie und stößt somit in dessen Mitte auf den Proc. spinosus BWK 3.

Der Dornfortsatz des 7. Brustwirbels findet man in der Mitte der Verbindungslinie zwischen den beiden unteren Schulterblattwinkeln (Anguli inferiores scapulae). Von diesem Punkt aus kann die untersuchende Person die folgenden Dornfortsätze abzählen bis er auf seinem gewünschten Segment ist. Zu beachten ist jedoch die dachziegelartige Anlagerung der Brustwirbel, wodurch sich der zum Dornfortsatz dazugehörige Wirbelkörper 0,5 – 1 Segment höher befindet. Etwas oberhalb des Proc. spinosus BWK 12 findet man den Ursprung der letzten Rippenpaare.

Um den 4. LWK klinisch aufsuchen zu können, tastet die untersuchende Person den höchsten Punkt der jeweiligen Seiten des Darmbeinkammes (Crista iliaca) und legt gedanklich eine Verbindungslinie. In der Mitte dieser Linie befindet sich nun der Dornfortsatz des 4. Lendenwirbels. (2)

1.2 Frakturen

1.2.1 Frakturen an der BWS und LWS

Da die Erfassung leichter und konservativ behandelter Wirbelsäulenverletzungen schwer möglich ist, werden die jährlichen Inzidenzen schwerer Verletzungen anhand der traumatischen Rückenmarkschädigungen geschätzt. In Deutschland gibt es somit pro Jahr um die 10.000 schwerwiegenden Wirbelsäulenverletzungen, wovon 70-80% die BWS und LWS betreffen. Davon treten, je nach Literatur, 50-67% am thorakolumbalen Übergang auf. Bei den meisten Frakturen handelt es sich um stabile Verletzungen, bei denen selbst nach konservativer Versorgung keine Sekundärdisklokation oder neurologische Ausfälle zu erwarten sind. Der Altersgipfel liegt zwischen 20 und 40 Jahren und betrifft doppelt so viele Männer wie Frauen. Stürze aus großer Höhe und Verkehrsunfälle sind die häufigsten Ursachen. (8-10)

Im thorakalen Abschnitt (T1-10) dominiert die Kyphose und die Rippen verhindern eine Rotation und ein Abgleiten nach ventral. Kompressionsfrakturen treten oftmals an den Scheitelwirbeln Th6/7 auf. Eine Rotations-Luxationsfraktur kann dennoch nach einem Hochrasantrauma entstehen.

Am thorakolumbalen Übergang (T11-L2) ändert sich die physiologische kyphotische Krümmung in eine lordotische, wodurch dieser Abschnitt besonders anfällig für Verletzungen ist.

Der lordotische lumbale Abschnitt (L3-S1) ist viermal seltener verletzt als der thorakolumbale Übergang. Die Lordose hat auf Höhe L3 die stärkste Krümmung wodurch die axiale Belastung hauptsächlich durch den hinteren Teil des Wirbelkörpers geleitet wird. Daher kommt es bei traumatischem Geschehen eher zu einer Höhenminderung als zu einer Kyphose. Aufgrund des großen Durchmessers des Spinalkanals sind selbst Einengungen von 90% ohne neurologisches Defizit möglich. Und aufgrund der Fähigkeit der Cauda equina Fasern wie periphere Nerven zu heilen stellt sich oftmals eine regelrechte neurologische Erholung ein. Neurologische Symptomatik entsteht durch spinale Stenosen in Kombination mit der Ruptur des PLC. (8-10)

1.2.1.1 Klassifikation traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule

1.2.1.1.1 Entwicklung

Die erste Klassifikation der Wirbelfrakturen erfolgte 1929 von dem Bekannten Unfallchirurgen Lorenz Böhler jedoch wurden seither über 50 Klassifikationen für Frakturen an der thorakolumbalen Wirbelsäule entwickelt. Die Einteilung der Wirbelsäulenfrakturen anhand ihrer Stabilität ist wichtig für die Therapieentscheidung und Prognose. Eine Auflistung der Definitionen, wann eine Fraktur nach aktuellen Ansichten als stabil anzusehen ist, erfolgt in einem späteren Kapitel. (8)

Die Wirbelsäule gilt laut Whitesides (1977) dann noch als stabil, wenn sie axiale-, Zug- und Rotationskräfte so standhalten kann, dass der Körper ohne fortschreitende Kyphose aufrecht gehalten wird und der Spinalkanal von weiteren Verletzungen geschützt wird. Zur besseren Beurteilung der Stabilität wurde ein Säulenmodell eingeführt, das die Wirbelsäule anhand ihrer unterschiedlich biomechanisch beanspruchten Strukturen einteilte. Whitesides betrachtete die Wirbelsäule wie einen Kran als zwei Säulen bestehend: vorne die druckfesten Wirbelkörper mit deren Bandscheiben, und dorsal Wirbelbögen, Gelenkfortsätze und Bänder die Extensionskräften ausgesetzt sind. (8,10-12)

Holdsworth postulierte, dass ein verletzter hinterer Bandkomplex (PLC) zu einer instabilen Verletzung führt. Dieser Komplex besteht pro Wirbelabschnitt aus dem Lig. supraspinale, Lig. interspinale, Lig. flava und der Facettengelenkscapsel. (8,10,12-14)

Später wurde das 3-Säulenmodell von Denis (1983) erfunden, welches das vorige Modell um eine weitere (mittlere) Säule ergänzt. Er entdeckte, dass die alleinige Verletzung des PLC nicht für die Instabilität verantwortlich ist, sondern nur in Kombination mit der Verletzung des hinteren Längsbandes und der Bandscheibe. (10,13,14)

Säule	Inhalt
Vordere Säule	Vorderes Längsband, vordere 2/3 der Bandscheibe und vorderer Teil des Wirbelkörpers
Mittlere Säule	Hinteres Längsband, hinteres Bandscheibendrittel, Wirbelkörperhinterwand
Hintere Säule	Hinterer Bandapparat, Facettengelenke (+ Kapsel), Lig. flavum

Tabelle 1: Säulenmodell

Aufgrund der vielen verfügbaren Klassifikationen und geringen Anzahl an Studien für dessen Validität, werden von Region zu Region andere Klassifikationen verwendet. Im deutschsprachigen Raum hat sich vor allem die Magerl-Klassifikation durchgesetzt. (8,12)

Magerl veröffentlichte 1994 eine thorakolumbale Frakturklassifikation, nachdem er 1445 thorakolumbale Verletzungen untersucht hatte. Er entwickelte je nach Verletzungsmuster drei Hauptkategorien (A = Kompression, B = Distraktion, C = Torsion) und unterteilte diese wiederum in 3 Gruppen und Untergruppen ein. Somit ergibt sich ein System von 55 Einzelfrakturtypen. Biomechanisch basiert diese Einteilung auf dem 2-Säulen-Prinzip. Die Schwere der Verletzungen ist hierarchisch geordnet, sodass C3 eine schwerwiegendere Verletzung als A1. Typ A Frakturen machen 66,1%, Typ B 14,5% und Typ C 19,4% der 1445 untersuchten Frakturen aus. (12,15,16)

In Amerika ist die Thoracolumbar Injury Classification (**TLICS**) die Beliebteste. Hierbei wird auch die Integrität des PLC und der Bandscheibe sowie der neurologische Status berücksichtigt. Diese Klassifikation gibt mithilfe eines Punktesystems eine Therapieempfehlung vor. (8,17)

1.2.1.1.2 AOSpine Klassifikation

Die Magerl Klassifikation wurde wegen seiner Komplexität kritisiert und berücksichtigte keine klinischen Faktoren wie eine neurologische Komponente. Im Jahr 2013 erarbeitete daher das Knowledge-Forum Trauma der AO-Spine

Klassifikation thorakolumbalen Verletzungen eine Kombination aus Magerl und TLICS aus die nun als vorherrschende Klassifikation gilt.

Es wird Rücksicht auf Frakturmorphologie, klinische Faktoren und neurologische Defizite genommen. Somit ist eine weitverbreitete, verständliche und klinisch akzeptierte Klassifikation sowohl für die Klinik als auch für die Forschung entwickelt worden. (8,11,17)

- **Typ A = Kompressionsfrakturen**

A0	isolierte Fraktur des Proc. Spinosus oder transversus
A1	isolierte Fraktur einer Endplatte
A2	Fraktur beider Endplatten, ohne Hinterwandbeteiligung
A3	Fraktur einer Endplatte mit Hinterwandbeteiligung = inkomplette Berstungsfraktur
A4	Fraktur beider Endplatten mit Hinterwandbeteiligung = komplette Berstungsfraktur

Tabelle 2: Kompressionsfrakturen

- **Typ B = Distraktionsverletzungen:** Durch Flexions- oder Extensionskräften kam es zum Versagen der dorsalen oder ventralen Zuggurtung. Es liegt jedoch keine translatorische Instabilität vor. Die dorsalen knöchernen bzw. diskoligamentären Strukturen sind immer mitverletzt. Es kann in der Rückenlage zur spontanen Selbstreposition kommen, wodurch diese Frakturen im Röntgenbild schwer sichtbar sind.

B1	transossär, monosegmental Distraktionsverletzung
B2	osteoligamentäre Distraktionsverletzung
B3	Hyperextensionsverletzung mit Zerreißen der anterioren Zuggurtung

Tabelle 3: Distraktionsverletzungen

- **Typ C = Rotationsverletzungen:** Durch Rotationskräfte kam es zum Versagen der dorsalen und ventralen Zuggurtung und es liegt zusätzlich eine translatorische Instabilität vor.

(8,10,16,17)

Der Schweregrad nimmt wieder von A bis C zu. Die verschiedenen Typen können kombiniert auftreten. A0-B1 betreffen nur die Wirbelkörper, B2-C immer ein Bewegungssegment. (8)

- Neurologische Defizite

N0	Keine Einschränkung
N1	Temporäres neurologisches Defizit, zum Untersuchungszeitpunkt jedoch nicht mehr nachweisbar
N2	Radikuläres Defizit
N3	Inkomplette Querschnittsläsion (ASIA D-B)
N4	Komplette Querschnittsläsion (ASIA A)
NX	Neurologischer Status aufgrund bestimmter Zustände nicht bestimmbar (Schädel-Hirn-Trauma, Sedierung)

Tabelle 4: Neurologische Defizite

(8)

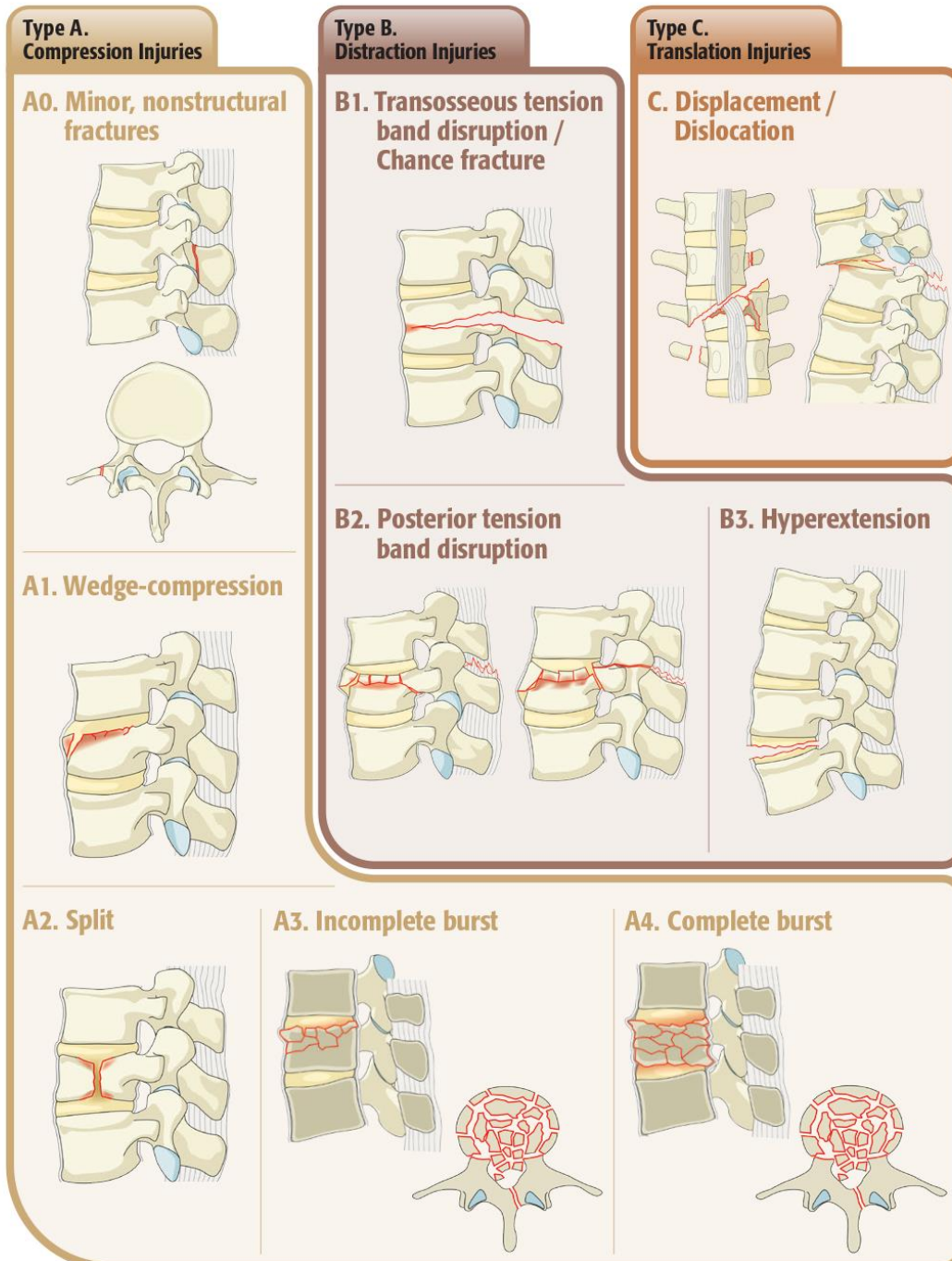
- Klinische Modifikatoren: diese können für die Therapieentscheidung bedeutsam sein.

M1	Der PCL konnte nicht eindeutig beurteilt werden oder steht noch aus. Dieser optionale Parameter kommt zu tragen, wenn ein ligamentärer Schaden nicht sicher auszuschließen ist, das knöcherne Erscheinungsbild jedoch eine stabile Situation andeutet.
M2	Sollte eine nicht eindeutige Therapieempfehlung vorliegen, kann dieser Parameter diese Entscheidung beeinflussen. Er beinhaltet patientenspezifische Komorbiditäten wie Morbus Bechterew, rheumatoide Erkrankungen, Osteoporose, infizierte Weichteilverletzungen oder Verbrennungen im OP Gebiet.

Tabelle 5: Klinische Modifikatoren

(8)

AOSpine Thoracolumbar Classification System



Contact: research@aospine.org

Further information: www.aospine.org/TLclassification

Abbildung 1: AOSpine Klassifikation

1.2.1.1.3 Stabile und instabile Frakturen an der Wirbelsäule

Die Einteilung der Verletzungen in stabil und instabil ist für das weitere (operative) Vorgehen entscheidend. Leider gibt es in der Literatur keine einheitliche Meinung darüber, wann eine Fraktur letzten Endes stabil oder instabil ist weswegen hier nur einige Definitionen ohne Garantie auf Vollständigkeit aufgelistet werden:

- „Klinikleitfaden Orthopädie und Unfallchirurgie“ von Breusch et al.: Bei stabilen Verletzungen ist die Spongiosa solide impaktiert und die Bandstrukturen sind intakt. Zu den instabilen Frakturen gehören jene mit Fehlstellungen, Ruptur des dorsalen Bandapparates oder Gefahr der RM-Läsion (vor allem bei Hinterkantenbeteiligung). (18)
- „Orthopädie und Orthopädische Chirurgie“ von Wirth et al.: Typ C Verletzungen sind grundsätzlich immer als instabil anzusehen, da diese durch eine komplex einwirkende Kraft mit Rotationskomponente entstehen und alle drei Säulen betroffen sind. (15)
- „Accident&Emergency Radiology“ von Raby: laut dem in Amerika erschienen Buch sind lediglich die Kompressionsfrakturen mit intakter hinterer Säule als stabil anzusehen. (19)
- „Praxis der Frakturbehandlung“ von McRae und Esser: bei dieser Quelle werden nur Kompressionskeilbrüche als stabil angesehen. Sie definieren außerdem noch: „Die Fraktur ist höchstwahrscheinlich stabil, wenn die Höhe der Vorderkante zwei Drittel oder mehr der Hinterkante beträgt, die Keilbildung 15° nicht überschreitet oder die Breite des Wirbelkörpers, geteilt durch die Höhendifferenz größer als 3,75 ist.“. Eine Fraktur ist instabil, wenn der PLC oder andere Strukturen, die zur Stabilität des Spinalkanals beitragen verletzt sind. Eine Keilbildung von $>20^\circ$ bzw. ein Kollaps der Vorderkante auf weniger als die Hälfte der Hinterkante kann ein Hinweis auf die Verletzung des PLC und damit einer Instabilität sein. Des Weiteren sind auch Trümmerfrakturen mit Beteiligung der Facettengelenke oder Pedikel

sowie bilaterale Pedikelfrakturen, die oftmals mit einer Wirbelkörperverschiebung einhergehen, instabil. (20)

- „Frakturen“ von Müller-Mai und Ekkernkamp: Blauth definiert Frakturen dann als stabil, wenn es in Ruhe oder Belastung zu keiner weiteren Stellungsänderung kommt. Geringgradig instabil sind Frakturen, die bei funktioneller Behandlung ohne schwerwiegende Fehlstellung bzw. neurologische Störung ausheilen. Kommt es jedoch zu einer schweren Fehlstellung oder neurologische Komplikationen handelt es sich um eine instabile Fraktur. (10)

1.2.1.2 Diagnostik

Für eine ausführliche Anamnese und Untersuchung sollte sich jede/r Kliniker/in ausreichend Zeit nehmen. Vor allem an der Wirbelsäule ist es besonders wichtig zu erkennen, welche Strukturen verletzt sind und in welchem Ausmaß. Dadurch ist eine Abschätzung des Risikos, der Komplikationen und folglich der Prognose möglich. Die Diagnostik besteht aus einer Anamnese, die hinweisend auf den Verletzungstyp sein kann, einer klinischen Untersuchung, die das Ausmaß der Verletzung eingrenzen kann, und einer radiologischen Untersuchung. (20)

Typische Symptome bei Frakturen an der BWS und LWS sind:

- lokale Klopf- und Druckschmerzen
- Frakturzeichen wie kyphotischer Knick
- häufige thorakale und intraabdominelle Begleitverletzungen
- bei Typ-C-Verletzungen oftmals einseitige Schulter/Thorax oder Beckenverletzungen
- Neurologische Ausfälle (30%/60% bei Typ-B/C-Verletzungen)
- paravertebrale Muskelverspannung, Bewegungsschmerzen, Zwangshaltung

(20-22)

1.2.1.2.1 Anamnese

Auf die allgemeine Anamnese, wie Vorerkrankungen, OPs, Allergien, und Medikamente, muss eine spezifische Anamnese für die aktuellen Wirbelsäulen Beschwerden folgen. Wichtige Punkte sind:

- Sturz, Infekt, systemische Erkrankung
- Beginn der Beschwerden, vermuteter Auslöser
- Verlauf (Dauer, Besserung, beeinflussende Faktoren)
- Schmerzen (wo, wie stark, wann besser, Eigenschaften)
- Funktionsstörungen, Steifigkeit, Kraftlosigkeit, Gangstörung
- Neurologische Symptome (Kribbeln, Taubheit, Lähmungen, Bewusstseinsstörungen, Kopfschmerzen)
- Allgemeine Krankheitssymptome (Fieber, Schwitzen, Gewichtsverlust)
- Bisherige Therapien (Art, Dauer, Erfolg) und Untersuchungen (Labor, Röntgen, MRT, CT)
- Soziale Anamnese (Beruf, Familienstand, Rentenantrag)

Spezielle Anamnese bei traumatischem Geschehen

- Bei welcher Tätigkeit passierte es
- Welche Art von Trauma (Stoß, Sturz, Verdrehung, Unfallhergang)
- Wie groß war die Krafteinwirkung (Höhe des Sturzes, Bagateltrauma)
- genaue Schmerzanamnese und Berücksichtigung neurologischer Symptomatik

(18,20,23,24)

1.2.1.2.2 Klinische Untersuchung

So wie bei allen klinischen Untersuchungen erfolgt auch die an der Wirbelsäule an der entkleideten Person. Besonders wichtig ist hierbei auch das Erheben des neurologischen Status denn 5% bzw. 15,5% der PatientInnen leiden bei einer Wirbelsäulenverletzung an einer kompletten bzw. inkompletten

Querschnittslähmung. Das Risiko an einer neurologischen Komplikation zu leiden nimmt von kaudal nach kranial zu. Da das Rückenmark auf Höhe von L1 endet, kann eine Verletzung distal davon nur noch die Cauda equina betreffen. Da alle lumbalen und sakralen Segmente des Rückenmarkes zwischen Th10 und L1 liegen, können Frakturen am thorakolumbalen Übergang eine große Vielfalt an neurologischen Störungen hervorrufen. (10,18,20)

Neurostatus:

- Sensibilitätsstörungen, Dermatome, Querschnittssymptomatik
- **Motorische Ausfälle:** werden geprüft durch Zehengang, Hackengang, Kennmuskeln und Kraftgrade.
 - Die Kraftmessung wird in 6 Graden eingeteilt. Ein Schaden im Rückenmark zeigt sich in einer Störung der Dermatome oder Myome. Zu den Kennmuskeln gehören:
 - Hüftbeugung: L2, 3 (M. iliopsoas, + Adduktorenreflex)
 - Hüftstreckung: L4, 5
 - Kniestreckung: L3, 4 (+ Patellarsehnenreflex)
 - Kniebeugung: L5, S1
 - Dorsalextension Sprunggelenk: L4, 5 (M. extensor hallucis longus, M. tibialis anterior)
 - Plantarflexion Sprunggelenk: S1, 2 (+ Achillessehnenreflex)

(20)

5	Normale Kraft
4	Bewegung gegen leichten Widerstand
3	Bewegung gegen die Schwerkraft
2	Bewegung unter Ausschalten der Schwerkraft möglich
1	Sichtbare Muskelkontraktion ohne Bewegung
0	Keine Muskelkontraktion

Tabelle 6: Kraftgrade

- **Reflexstatus:** besonders hervorzuheben sind hierbei die Muskelreflexe wie der Patellarsehnenreflex (L4), Tibialis posterior Reflex (L5) und der

Achillessehnenreflex (S1) aber auch der Analreflex und der pathologische Babinskireflex.

- **Lasègue Zeichen:** ein stechend einschießender Nervendehnungsschmerz von L4 bis S2 kann im Liegen beim passiven Anheben des gestreckten Beines ausgelöst werden.
- **Femoralisdehnungsschmerz:** bei einer Wurzelreizung von L3/4 ist der N. femoralis Dehnungstest positiv. Das Knie der am Bauch liegenden Patientin/ des Patienten wird angewinkelt und die Hüfte gestreckt wodurch der N. femoralis gedehnt wird und Schmerzen in dessen Verlauf ausgelöst werden.

(18,20,23)

Inspektion: anfänglich wird das Gesamterscheinungsbild der Patientin/ des Patienten beim Eintreten in den Untersuchungsraum, beim Setzen und beim Stehen von vorne beobachtet. Ein besonderer Stellenwert wird auf Körperhaltung, Kopfhaltung, Stellung des Schultergürtels, Thoraxform, Beckenstellung und Gangbild gelegt.

Seitlich inspiziert man die physiologischen Krümmungen und achtet auf etwaige Kontinuitätsunterbrechungen. Steht beispielsweise ein Dornfortsatz weiter vor als der andere, könnte dies für eine Spondylolisthese sprechen.

Bei der Betrachtung von hinten sollte die Wirbelsäule bzw. deren Rückenrinne gerade in einer Linie verlaufen. Bückt sich der/die PatientIn beim sogenannten Vorbeugetest nun aktiv nach vorne, tritt bei einer Skoliose ein Rippenbuckel hervor, welcher sich bei einer leichten Form der Skoliose im Sitzen wieder ausgleicht. Lässt der/die PatientIn seine Arme locker an der Seite hängen, so bildet sich auf beiden Seiten zwischen Taille und seinen Armen jeweils ein Taillendreieck, die wiederum seitengleich und von gleicher Größe sein sollen. Bei der Frakturdiagnostik wird besonders auf Prellmarken und dorsale Hämatome geachtet. (18,21,23)

Palpation: Jeder Wirbel wird im Sitzen bei leicht vorgebeugter/m Patientin/Patienten von kranial beginnend abgeklopft und auf Schmerz getestet.

Bei radikulären Schmerzen ist von einer Bandscheibenpathologie auszugehen, bei lokalem von degenerativen oder entzündlichen Veränderungen. Im Bereich der Nieren wird zusätzlich auf Klopfschmerz getestet, um eine Pyelonephritis ausschließen zu können. Mit der flachen Hand wird auf der sitzenden Patientin/dem sitzenden Patienten ein Druck ausgeübt, um einen Stauchungsschmerz ausschließen zu können. Danach erfolgt die Austestung auf Druckschmerzhaftigkeit sämtlicher Strukturen (Dornfortsätze, Zygapophysialgelenke, Querfortsätze, Thoraxkompressionsschmerz). Außerdem wird bei der paravertebralen Muskulatur auf Druckschmerzhaftigkeit und Muskelhartspann geachtet. (18,23)

Bewegungsumfang:

- in allen drei Wirbelsäulenabschnitten wird das **Bewegungsausmaß** der Extension/Flexion, Lateralflexion und Rotation mit der Neutral-Null-Methode gemessen und dokumentiert.
- Der **Finger-Boden-Abstand** lässt auf die Gesamtbeweglichkeit der LWS und der Hüftgelenke schließen und beträgt 0-10 cm.
- Beim **Ott-Zeichen** wird die Entfaltbarkeit der BWS gemessen, indem die untersuchende Person bei der Patientin/dem Patienten im Stehen den Dornfortsatz von C7 markiert und 30 cm kaudal noch einen Punkt festlegt. Nach deren Vorbeugen beträgt nun die Strecke zwischen C7 und dem zuvor festgelegten Punkt 32-35 cm.
- Das **Schober-Zeichen** ist analog dazu, nur dass hierbei L5 und 10 cm kranial davon markiert wird. Nach dem Vorbeugen sollte die Strecke 13-15 cm betragen. Da die LWS, wie in Kapitel 1.1.8 bereits beschrieben, besser flektieren/extendieren kann als die BWS, ist hier eine geringere Messstrecke von 10 cm bereits ausreichend. Bei degenerativen oder entzündlichen Veränderungen sind bei beiden Zeichen verringerte Werte zu verzeichnen. (18,23,25)

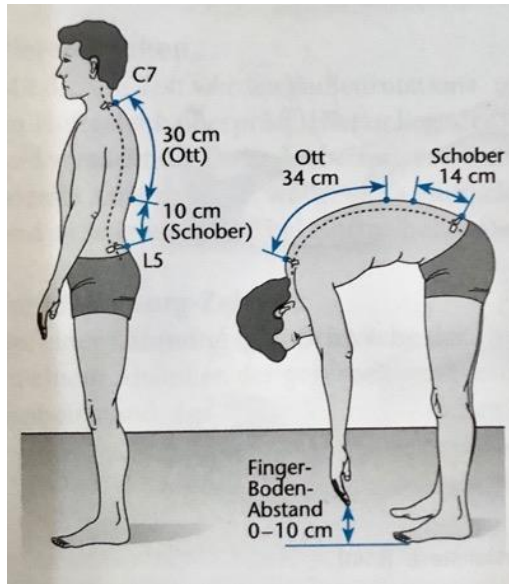


Abbildung 2: Schober und Ott-Zeichen (8)

Funktionstests:

- **Psoas Zeichen:** der/die PatientIn liegt am Rücken und hebt sein gestrecktes Bein aktiv ab, woraufhin die untersuchende Person dessen Oberschenkel ruckartig runterdrückt. Reflektorisch wird der M. iliopsoas angespannt und da sein Ursprung an den Procc. costales der LWS ist, kommt es zu einem Zug auf diese.
- Beim **Vorlaufphänomen** befindet sich die untersuchende Person hinter der Patientin/dem Patienten und legt beide Finger auf dessen Spinae iliacae posteriores superiores. Beugt sich diese Person nun vor, sollten sich die Finger immer noch auf gleicher Höhe wie zuvor befinden, ansonsten liegt eine Hypomobilität des Iliosakralgelenkes vor. (23,25)

Kommt es bei einer Fraktur zu neurologischen Ausfällen, wird diese mit dem ASIA (American Spine Injury Association) Schema dokumentiert. Damit ist eine Unterscheidung zwischen kompletter und inkompletter Querschnittsläsion möglich. Außerdem kann mit dieser Skala die neurologische Erholung prognostiziert werden, wobei die größte Erholung bei PatientInnen mit Grad C erzielt wird. (25,26)

ASIA INTERNATIONAL STANDARDS FOR NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY (ISNCSCI) **ISCOS**

Patient Name _____ Date/Time of Exam _____
 Examiner Name _____ Signature _____

RIGHT

MOTOR KEY MUSCLES

Elbow flexors C5
 Wrist extensors C6
 Elbow extensors C7
 Finger flexors C8
 Finger abductors (little finger) T1

UER (Upper Extremity Right)

Elbow flexors C5
 Wrist extensors C6
 Elbow extensors C7
 Finger flexors C8
 Finger abductors (little finger) T1

LER (Lower Extremity Right)

Hip flexors L2
 Knee extensors L3
 Ankle dorsiflexors L4
 Long toe extensors L5
 Ankle plantar flexors S1

(VAC) Voluntary Anal Contraction (Yes/No)

RIGHT TOTALS (MAXIMUM)

MOTOR SUBSCORES

UER + UEL = UEMS TOTAL (50)

LER + LEL = LEMS TOTAL (25)

SENSORY KEY SENSORY POINTS

Light Touch (LTR) Pin Prick (PPR)

C2
C3
C4
C5
C6
C7
C8
T1
T2
T3
T4
T5
T6
T7
T8
T9
T10
T11
T12
L1
L2
L3
L4
L5
S1
S2
S3
S4-5

SENSORY KEY SENSORY POINTS

Light Touch (LTL) Pin Prick (PPL)

C2
C3
C4
C5
C6
C7
C8
T1
T2
T3
T4
T5
T6
T7
T8
T9
T10
T11
T12
L1
L2
L3
L4
L5
S1
S2
S3
S4-5

LEFT TOTALS (MAXIMUM)

MOTOR SUBSCORES

LTR + LTL = LT TOTAL (56)

PPR + PPL = PP TOTAL (112)

• Key Sensory Points

NEUROLOGICAL LEVELS

1. SENSORY R L

2. MOTOR R L

3. NEUROLOGICAL LEVEL OF INJURY (NLI)

4. COMPLETE OR INCOMPLETE? (in injuries with absent motor OR sensory function in S4-5 only)

5. ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS)

6. ZONE OF PARTIAL PRESERVATION SENSORY R L

MOTOR R L

Page 1/2 This form may be copied freely but should not be altered without permission from the American Spinal Injury Association. REV 04/19

Abbildung 3: ASIA Score

1.2.1.2.3 Radiologische Diagnostik

Die bildgebende (radiologische) Diagnostik ergänzt die klinische Untersuchung. Es sollte ein besonderes Augenmerk auf den thorakolumbalen Übergang gelegt werden, da in diesem Bereich Frakturen häufig sind und die PatientInnen fälschlicherweise die Schmerzlokalisierung weiter kaudal angeben als am Ort der Fraktur. Wird am letzten Lendenwirbel eine Fraktur gefunden, muss unbedingt eine Becken- bzw. Sakrumverletzung ausgeschlossen werden. Ist anhand des Unfallmechanismus eine Rumpfwirbelsäulenverletzung möglich müssen Extremitätendiagnostik, Beckenuntersuchung, Thoraxröntgen, sonographische Untersuchung des Abdomens, Wirbelsäulen-Ganzaufnahme und Dens-Zielaufnahme durchgeführt werden. (8,15,26)

Röntgen: zur Frakturdiagnostik ist primär das Röntgen vorzuziehen.

Röntgenbildern sollten immer in mindestens zwei Ebenen angefertigt werden, um das Frakturausmaß und dessen Dislokation suffizient beurteilen zu können. Die seitliche und die a.p. Ebene sind Standard. Des Weiteren werden dadurch Frakturlinien, die manchmal nur in einer Ebene als Verdichtungslinie erkennbar sind, nicht übersehen. Es werden standardisierte Einstelltechniken benötigt, um eine Verlaufskontrolle und korrekte Winkelmessung ermöglichen zu können. Aufnahmen der Wirbelsäule sind möglichst immer im Stehen anzufertigen.

(8,16,25-27)

In der **seitlichen Aufnahme** wird auf die physiologischen Krümmungen, Form und Kontinuität der Endplatten, Höhe der Zwischenwirbelabstände, Spinalkanalweite, Verlauf und Lage der Vorder-, Hinterkanten, Procc. articulares, Foramina intervertebralia und Dornfortsätzen geachtet. Frakturhinweise können sein: Höhen- bzw. Formänderungen eines Wirbelkörpers (Keilbildung), Wirbelversatz nach ventral oder dorsal, veränderte Höhe des Bandscheibenfaches, Vorwölben der Wirbelkörperhinterwand, Stufenbildungen und segmentale Knickbildung.

(8,16,25,26)

In der **a.p. Ansicht** achtet die untersuchende Person auf den Verlauf der Dornfortsatzreihe, Lage und Symmetrie der Pedikel sowie der Wirbelkörperhöhe und -breite. Die Dornfortsätze erscheinen hier in einer Tränenform, die Bogenwurzeln erscheinen als dichte, ovale Ringe auf beiden Seiten der Wirbelkörper. Hinweise auf Frakturen sind beispielsweise skoliotische Knickbildungen, unterschiedliche Dornfortsatz- oder Pedikelabstände an benachbarten Wirbeln, verbreiteter Pedikelabstand an einem Wirbel, komprimierte Endplatten und ein Wirbelseitversatz. (8,16,25,26)

An der LWS gibt es noch **Zusatzaufnahmen** wie die Schrägaufnahme und Funktionsaufnahmen, die bei traumatischem Geschehen jedoch eine geringe Rolle spielen. Bei der Schrägaufnahme im 45° Winkel können die Intervertebralgelenke, Interartikularportionen (der Bereich zwischen benachbarten Proc. articularis superior et inferior) und Zwischenwirbelräume besser beurteilen werden und ein Wirbelgleiten (Spondylolisthesis) radiologisch diagnostiziert

werden. In der Funktionsaufnahme kann die Inklination/Reklination oder Seitbeugung zur Beurteilung von Stabilität und Beweglichkeit bzw. zur Beurteilung der Korrekturmöglichkeiten bei Skoliose untersucht werden. (5,8,25,26)

Computertomographie (CT): eine zusätzliche Computertomographie wird zur Frakturklassifikation und zur besseren Beurteilung des Ausmaßes der Fraktur, der umgebenden Strukturen und der Beurteilung des Spinalkanals herangezogen. Vor allem zur Klassifikation der Fraktur und Planung des operativen Vorgehens eignet sich diese Untersuchung. Spaltbrüche und Frakturen der Pedikel und Laminae sind ebenfalls besser in der Computertomographie beurteilbar als im konventionellen Röntgen. (8,10,16,26)

Magnetresonanztomographie (MRT): dieses bildgebende Verfahren ist besonders geeignet zur Identifizierung von Rückenmarks-, Spinalnerven- und Bandverletzungen sowie der Lage der Bandscheiben. Indikationen sind ein unklarer Befund des hinteren Bandkomplexes (PLC) sowie zum Ausschluss intraspinaler Hämatome und Weichteil-Raumforderungen. Nachteil des MRT ist die eingeschränkte Verfügbarkeit und die Dauer der Untersuchung. (8,16,24)

1.2.1.3 Differentialdiagnosen

Bei der Auswertung der Ergebnisse muss die untersuchende Person an eventuelle Differentialdiagnosen denken. Darunter fallen beispielsweise degenerative Erkrankungen (Morbus Bechterew, rheumatoide Arthritis), Fehlhaltungen, angeborene Fehlbildungen (unvollständiger Bogenschluss, Blockwirbelbildungen) und Folgen vorausgegangener Verletzungen bzw. Erkrankungen. (16)

1.3 Therapie

Die Therapie der Wirbelkörperfrakturen kann entweder konservativ oder operativ erfolgen. Das gemeinsame Ziel hierbei ist jedoch die Beseitigung spinaler/radikulärer Kompressionen, die Wiederherstellung der Wirbelsäulenstabilität bzw. der Wirbelsäulenachsen und Schwingungen, sowie eine schmerzarme Frühmobilisation und Frührehabilitation. Zusammengefasst wird die Wiederherstellung der protektiven, statischen und dynamischen Funktionen angestrebt. Um die richtige Therapie einleiten zu können, ist eine exakte Klassifizierung der Fraktur nötig. (10,16)

Eine sofortige operative Versorgung hat bei (in-)kompletter Querschnittssymptomatik, zunehmender Neurologie und offenen Rückenmarksverletzungen zu erfolgen. Eine dringliche Operation muss bei Cauda Equina Symptomatik, signifikanten Spinalkanaleinengungen und hochgradiger Instabilität erfolgen. (24)

1.3.1 Konservative Therapie

Eine konservative Therapie ist nur bei stabilen Frakturen mit geringer Höhenminderung und geringer Kyphose, wie zum Beispiel bei Impaktionsbrüchen (A1) und nicht dislozierten Spaltbrüchen (A2) möglich. (10,16)

Diese Frakturen bedürfen keiner aktiven Korrektur, sondern einer möglichst kurzzeitige Bettruhe, Analgetikatherapie und stabilisierender Physiotherapie ab dem Nachlassen der Schmerzen. Teil der Physiotherapie sind anfänglich stabilisierende Übungen und Anspannübungen der Rücken- und Bauchmuskulatur für 4 Wochen. Ab der 5. – 6. Woche können Rotationsbewegungen und Inklination, sowie die Kräftigung der Rückenmuskulatur zum Wiedererlangen der Beweglichkeit durchgeführt werden. Radiologischen Kontrollen sollten erstmals innerhalb der ersten Woche im Stehen und in zwei Ebenen erfolgen, danach in regelmäßigen Abständen (Beispielsweise nach 3, 6, 12 Wochen). Stellt die untersuchende Person hierbei ein weiteres Nachsintern bzw. eine sekundäre Dislokation fest, ist die Durchführung einer operativen Versorgung erneut zu

evaluieren. Eine Stellungsänderung in der Sagittalebene um mehr als 5° sowie eine Kyphosezunahme auf über 20° sollte im Verlauf bei einer stabilen Verletzung nicht auftreten. Schmerzen nach ossärer Durchbauung sind proximal von Th11 selten, distal davon jedoch häufig, wenn anamnestisch zuvor bereits Rückenschmerzen bekannt waren. Auf das Heben und Tragen schwerer Lasten sollte für 3 Monate verzichtet werden. (8,16,20)

Besonders bei multimorbiden und alten PatientInnen mit schlechter Knochenqualität ist die konservative Behandlung von großer Relevanz. Bei dem Therapiekonzept von Böhler wurde durch Lordosierung und Längszug eine Reposition erreicht und mittels Gipsmieder gehalten. Dieses musste für mindestens 12 Wochen getragen werden und bei instabilen Frakturen erfolgte in den ersten 6 Wochen eine Liegephase. Bei PatientInnen mit pulmonaler Beeinträchtigung musste dafür eine funktionelle Therapie mit Schulung von rückengerechtem Verhalten und Vermeidung einer Kyphosierung durchgeführt werden, da bei Orthesen die pulmonale Funktion noch zusätzlich stark beeinträchtigt wird. Neuesten Quellen zufolge sind Gipsmieder und Korsettbehandlungen, sowie lange Bettruhen, obsolet geworden. Das 3-Punkt-Korsett wird nur noch gelegentlich bei persistierenden Schmerzen und muskelschwachen PatientInnen angelegt. Ziel ist gerade bei älteren RisikopatientInnen eine frühestmögliche Mobilisation mit adäquater Schmerztherapie. (8,10,15,18,26)

1.3.2 Operative Therapie

Alle instabilen Frakturen, ungeachtet ob bereits neurologische Ausfälle vorliegen oder nicht, müssen operativ versorgt werden. Dazu gehören somit alle B- und alle C- Frakturen. Die A-Frakturen werden oftmals ab einem monosegmentalen Kyphosewinkel von $>20^\circ$, oder einer Wirbelkörperhöhenminderung von 50% oder ab einem monosegmentalen Skoliosewinkel von 10° operativ versorgt. (8,16,21)

Nach Verheyden stellen folgende Szenarien eine Operationsindikation dar (28):

- offene Wirbelsäulenfrakturen

- instabile Wirbelsäulenverletzungen bei Polytraumaverletzungen
- instabile Wirbelsäulenverletzungen mit drohendem neurologischem Defizit
- Frakturen mit Vorliegen eines neurologischen Defizites
- Frakturen mit einem bisegmentalen Grunddeckplattenwinkel von mehr als 15° bzw. einer skoliotischen Fehlstellung von >10°

Grundsätzlich wird eine Reposition mit anschließender dorsaler und/oder ventraler Instrumentierung durchgeführt. Der Zugang kann von dorsal, ventral oder kombiniert dorso-ventral erfolgen. Dabei kann je nach Bedarf zusätzlich noch eine „Clearance“ des Spinalkanals zur Dekompression, oder die Rekonstruktion der ventralen Säule mit Metallimplantat (Cage) nötig sein. (8,21)

Unter einer Instrumentation versteht man das Einbringen von Implantaten zur Stabilisierung der Wirbelsäule. Diese kann entweder von ventral oder dorsal erfolgen. Die Bewegungssegmente werden bei einer Instrumentation von dorsal jedoch, im Gegensatz zu einer dorsalen Spondylodese mit Knochenanlagerung, nur temporär versteift, da das Metall nach knöcherner Konsolidierung wieder entfernt und die Wirbelsäulensegmente dadurch freigegeben werden können. Wie weit jedoch die tangierten Facettengelenke vor allem im BWS-Bereich durch das Einbringen von Pedikelschrauben trotzdem fusionieren bleibt umstritten. Bei der ventralen Rekonstruktion wird die ventrale Säule durch Einbringen von Implantaten bzw. Transplantaten stabilisiert. (28)

1.3.2.1 Zugangswege

Minimalinvasive Verfahren, wie die perkutane Versorgung bei dorsaler Instrumentierung, haben in den letzten Jahren auch in der Wirbelsäulen Chirurgie Einzug gefunden. So haben sie den Vorteil einer geringeren Morbidität der Zugänge, eines geringeren Blutverlustes und Schmerzmittelgebrauches, eine kürzere Behandlungs- und Rehabilitationszeit und eine kürzere Operationszeit bei gleichen funktionellen Ergebnissen. Bei hochgradig instabilen Verletzungen und neurologischem Defizit ist jedoch ein offenes Vorgehen zu wählen, um so bessere Kontrolle auf die Fragmente und den Spinalkanal zu haben. (8,10)

Die Vorteile eines dorsalen Primäreingriffes sind die effektivste Repositionsmöglichkeit und Stabilisierung mit Fixateur interne, die bestmögliche Kontrolle über den Spinalkanal und die Vermeidung des Zuganges durch Körperhöhlen, was besonders beim Poly- bzw. Thoraxtrauma wichtig ist. Als Nachteil sind die bedingte Möglichkeit der Rekonstruktion der vorderen Säule und zugangsbedingte Schäden der Rückenmuskulatur zu nennen. Bei der ventralen Operationsmethode muss durch Körperhöhle bzw. retroperitoneal zugegangen werden und ist daher als Notfalleingriff nicht geeignet. (8)

Adressiert der/die OperateurIn operativ alleinig die ventrale Säule, kann es zu Problemen bei der Reposition kommen, bei der alleinigen dorsalen Operation kommt es oftmals zu fortschreitender Kyphosierung und das Repositionsergebnis kann nicht gehalten werden. (10)

Laut McCormack ergibt sich die Notwendigkeit zur Rekonstruktion der vorderen Säule aus dem Ausmaß der Wirbelkörperzerstörung. Wenn bei einer Fraktur mehr als die Hälfte des Wirbelkörpers betroffen ist, sollte eine ventrale Rekonstruktion erwogen werden. Ebenso wenn der Wirbelkörper, und vor allem seine Deckplatte, nach alleiniger dorsaler Reposition nicht wiederhergestellt werden konnte.

Adressiert der/die OperateurIn alleinig die ventrale Operation kommt es zu Problemen bei der Reposition, bei der alleinigen dorsalen Operation kommt es oftmals zu fortschreitender Kyphosierung. (8,10)

1.3.2.2 Kyphoplastie

Daniaux beschrieb 1986 die Unterfütterung von Berstungsfrakturen mittels dorsal transpedikulär eingebrachter autologer Spongiosa. Der sekundäre Korrekturverlust konnte jedoch noch immer nicht suffizient verhindert werden. Bei der Vertebroplastie wird transpedikuläres ein spezieller Knochenzement (Polymethylmethacrylat, PMMA) eingebracht und somit wird die vordere Säule des betroffenen Wirbels ohne ventralen Zugang abgestützt. Dieses Verfahren wurde

an schmerzhaften Hämangiomwirbelkörpern etabliert und ist vor allem bei osteoporotischen Sinterungsfrakturen indiziert. (10)

Später entwickelte sich dieses Verfahren weiter und wird seither Kyphoplastie genannt. Dieses minimalinvasive Verfahren wurde erstmals 1998 von Reiley durchgeführt. Bevor der Zement in den Wirbelkörper eingebracht wird, wird ein Ballonkatheter transpedikulär eingeführt und durch Füllung mit Kontrastmittel aufgeblasen. Dadurch wird, im Gegensatz zur Vertebroplastie, eine Aufrichtung des frakturierten Wirbels erzielt. Das Kontrastmittel wird abgelassen und in den dadurch geschaffenen Hohlraum wird nun ein Knochenzement gefüllt. Ein großer Vorteil dieses Verfahrens ist das verringerte Auftreten von Zementaustritten durch den präformierten Hohlraum im Wirbelkörper. Im Durchschnitt werden an der Lendenwirbelsäule 5,4 ml, an der BWS 4ml über beide Pedikel eingebracht. Diese minimalinvasiven Verfahren wurden anfänglich für osteoporotischen zusammengesinterten Frakturen entwickelt, finden jedoch mittlerweile auch bei traumatischen Wirbelfrakturen Anwendung. (10,26)

Komplikationen bei der Kyphoplastie können Verletzung von umliegenden Strukturen, Zementembolien mit folglich pulmonalen Komplikationen und Zementleckagen in umgebende Weichteile sein. Bei 50-90% der Vertebroplastien, sowie bei 5-20% der Kyphoplastien kommt es zu klinisch asymptomatischen Zementdislokationen. Wenn die Zementspitzen in die Bandscheiben austreten, kann es zu Anschlussfrakturen benachbarter Wirbelkörper kommen, was bei der Kyphoplastie durch den zuvor geschaffenen Hohlraum seltener ist als bei der Vertebroplastie. Da es bei beiden Verfahren jedoch auch zu Verletzungen der neuronal wichtigen Strukturen kommen kann, wird die Durchführung der der Kyphoplastie und Vertebroplastie nur an Kliniken mit der Möglichkeit zur offenen Spinalkanalrevision empfohlen. (10,22)

1.3.2.3 Minimalinvasive dorsale Stabilisierung

Bei der dorsalen Stabilisierung wird ein winkelstabiler Fixateur interne implantiert. Eine Reposition der kyphotischen Fehlstellung wird bei modernen Systemen durch

einen Kippmechanismus in der Verbindung Längsträger-Pedikelschraube ermöglicht, wodurch ein minimalinvasiver Eingriff möglich ist. Luxationsfrakturen mit hochgradiger Dislokation und Frakturen mit Einengungen des Spinalkanals müssen aufgrund des benötigten Einbringens der Querträgers bzw. einer (Hemi-) Laminektomie offen instrumentiert werden. (10,29)

Das Ziel der dorsalen Stabilisierung ist die anatomische Reposition unter Distraction und Lordosierung und die Wiederherstellung des physiologischen Alignments des verletzten Wirbelsäulenabschnittes. Bei dieser Operationsmethode werden jeweils kranial und kaudal des frakturierten Wirbels an beiden Seiten lange Schrauben transpedikulär in die Wirbelkörper eingebracht. Diese Schrauben werden danach über einen linken und rechten longitudinalen Gewindestab mit beweglichen Klemmböcken verbunden. Dadurch vereint das Implantat Zuggurtung und Neutralisation und erlaubt eine Distraction, Kompression oder Fixation in Neutralposition, mit oder ohne Vorspannung. (8,16,30)

Komplikationen: bei der Instrumentation mit den Pedikelschrauben können das Rückenmark oder die Nervenwurzeln verletzt werden und es kommt zu neurologischen Defiziten. Ein Implantatversagen kann in bis zu 27% der Fälle auftreten und vor allem bei osteoporotischem Knochen können Pedikelschrauben locker werden. Eine Infektion ist in bis zu 18% der Fälle dokumentiert, wobei das Risiko bei bettlägerigen bzw. pleurischen PatientInnen nochmals deutlich erhöht ist. Pseudarthrose, Korrekturverlust und Ausbildung einer Skoliose sind ebenfalls nennenswerte Komplikationen nach Instrumentierung an der Wirbelsäule. Eine seltene jedoch potenziell lebensbedrohliche Komplikation ist die Verletzung ventral des Wirbelkörpers liegender Strukturen wie V. cava, Aorta, Pleura- bzw. Retroperitoneum. Aufgrund der physiologischen Kyphosierung und der dünneren Pedikel an der BWS, kommt es hier zu einem geringeren Halt und höheren Ausrissgefahr der Pedikelschrauben. Der Pedikeldurchmesser ist zwischen Th5/6 am geringsten, wodurch die Platzierung der Pedikelschrauben hier entsprechend vorsichtig, eventuell auch unter Zuhilfenahme von intraoperativen Schnittbildtechnik (3D-Bildwandler, CT) vorgenommen werden soll. (8,10,18,22,26)

1.3.2.4 Kombinierte Operationstechnik

An der Universitätsklinik für Orthopädie und Traumatologie am LKH Graz wird bei Komplikations- und Berstungsfrakturen seit Jahren ein einzeitiges, minimalinvasives Hybridverfahren angewendet. Da die Kyphoplastie eine Aufrichtung der ventralen Säule mittels dorsalem Operationszugang erlaubt, wird sie mit der perkutanen dorsalen Stabilisierung kombiniert verwendet und zeigt gute Studienergebnisse. Die Kyphoplastie alleine würde die Wirbelkörperhinterkante nicht ausreichend fixieren, die dorsale Spondylodese hingegen kann die ventrale Säule nicht suffizient aufrichten und stabilisieren. (31,32)

Die Lagerung erfolgt auf dem Bauch und unter den Schultern und dem Becken befindet sich jeweils ein Kissen. Durch den ventralen Durchhang und der Unterpolsterung kommt es bei frischen Frakturen durch Ligamentotaxis oftmals zu einer Reposition. Zusätzlich kann unter Bildwandlerkontrolle eine geschlossene Reposition durch Zug an den Achseln und am Beckenkamm versucht werden. Aufgrund des stabilisierenden Brustkorbskelettes ist die Reposition und Gibbuskorrektur an der BWS jedoch erschwert. Aufgrund der besseren Muskelrelaxation und der Bauchlagerung bedarf diese Operation einer Intubationsnarkose. Mit größeren Blutverlusten ist in der Regel nicht zu rechnen. Präoperativ wird eine Single-Shot-Antibiotikaprophylaxe durchgeführt. (10,16,22,24)

Bei der perkutanen dorsalen Instrumentierung müssen anatomische Landmarken radiologisch dargestellt werden, wodurch man intraoperativ zwei schwenkbare C-bogenförmige Bildwandler benötigt. Mit ihnen wird der frakturierte Wirbelkörper und die Pedikel in der a.p. und seitlichen Ebene exakt orthograd, also ohne Doppelkonturen und die Dornfortsätze mittig zwischen den Pedikeln, eingestellt. Anschließend werden die Pedikel im a.p. Strahlengang markiert und der/die PatientIn steril abgedeckt. (22)

Es sind zwei Zugangswege zur Wirbelsäule möglich: transpedikulär durch die Bogenwurzeln und extrapedikulär kranio-lateral der Bogenwurzeln. Ein extrapedikulärer Zugang ist bei schmalen Pedikeln, meist bis zum 5. Brustwirbelkörper, zu wählen. Kaudal davon können die Pedikel gut abgegrenzt werden und sind ausreichend weit, weswegen hier transpedikulär instrumentiert werden kann.

Bei dem transpedikulären Zugang erfolgt eine Stichinzision quer am lateralen Rand des markierten Pedikels und eine Yamshidi-Punktionshohlnadel wird knapp innerhalb der lateralen Pedikelbegrenzung am Knochen angesetzt. Die Nadel wird 5-10° konvergierend und circa 15° zur Sagittalebene geneigt, um anschließend wenige Millimeter mit dem Hammer in den Pedikel geschlagen zu werden, bevor eine seitliche Lagekontrolle erfolgt. Danach wird die Lage der Nadel so lange unter wechselndem a.p. und seitlichem Strahlengang kontrolliert, bis die Spitze die Wirbelkörperhinterkante erreicht hat. In der a.p. Ansicht darf die Nadel die mediale Pedikelgrenze nicht überschritten haben, da sonst eine Verletzung der umliegenden Strukturen möglich ist.

Die Stichinzision hat beim extrapedikulären Zugang lateral des Pedikels und kranial des Querfortsatzes zu erfolgen. Die Nadel wird am Oberrand des Kostotransversalgelenkes angesetzt und in Richtung Wirbelkörper eingegeben. Die Nadelspritze liegt nun knapp kranio-lateral des Pedikels und die Perforation des Wirbelkörpers erfolgt am kranio-lateralen Fußpunkt der Bogenwurzel. Bei der seitlichen Lagekontrolle soll die Spitze der Yamshidi-Nadel im dorsalen Drittel des Wirbelkörpers liegen. Literaturangaben zufolge berichten PatientInnen nach der extrapedikulären Technik öfter über postoperative Schmerzen, weswegen sich die Injektion eines Lokalanästhetikum-Depots am Ende der Operation empfiehlt.
(22,33,34)

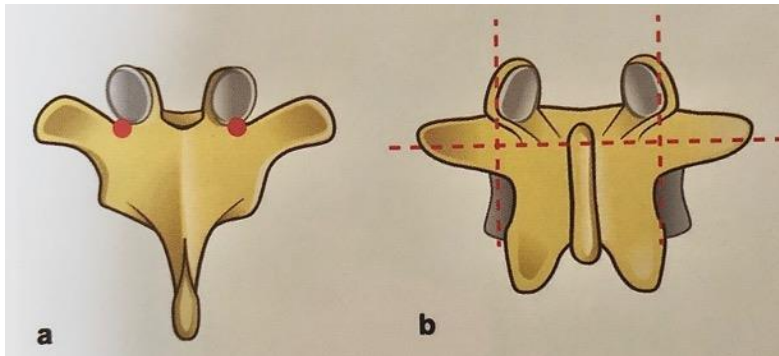


Abbildung 4: Pedikeleintrittspunkt an der BWS bzw. LWS (25)

Da die Größe, der Verlauf und die Konvergenz der Pedikel von kranial nach kaudal unterschiedlich sind, ist die Kenntnis der genauen Anatomie von entscheidender Bedeutung. Präoperativ sollten die Computertomographiebilder gut studiert und die Pedikeldurchmesser in der axialen Ebene exakt ausgemessen worden sein. (22)

Die folgenden Schritte werden auf beiden Seiten entweder parallel durch jeweils einen OperateurInnen oder nacheinander durchgeführt. Der Mandrin aus der Nadel entfernt und stattdessen ein Gewindedraht unter radiologischer Kontrolle bis zum Übergang vom mittleren zum ventralen Drittel des Wirbelkörpers vorgeschoben. Die Yamshidi-Nadel wird unter Belassung des Gewindedrahtes entfernt und gegen eine Arbeitskanüle mit Führungstroker ausgetauscht, wobei die Arbeitskanüle bis knapp über die Wirbelkörperhinterkante eingeschlagen wird. Hierbei ist unter radiologischer Kontrolle darauf zu achten, dass der Gewindedraht ventral nicht den Wirbelkörper und die davor liegenden Strukturen perforiert oder es später zu einem Zementaustritt kommt. Über die Trokare wird anschließend mit einem Bohrer der Hohlraum für den Ballonkatheter vorbereitet, welcher eingeführt und dessen mittige Lage im seitlichen Strahlengang kontrolliert wird. Die Markierungen der Ballone sollten sich außerhalb der Arbeitskanülen befinden. Unter Druck- und Volumenkontrolle erfolgt die Injektion von kontrastmittelhaltiger, steriler Kochsalzlösung und damit innerhalb von 10 Minuten die Aufrichtung des Wirbelkörpers. Je nach Wirbelkörpergröße, Frakturart- und alter werden unterschiedliche Mengen injiziert. Die Inflation der Ballons wird beendet, wenn die Wirbelkörperhöhe bestmöglich hergestellt wurde, die Ballons die Wirbelkörperkortikalis erreicht haben, der Maximaldruck oder -volumen erreicht ist.

Üblicherweise werden zwischen 1,5 und 6 ml pro Seite in den Ballon gefüllt, wobei ein Füllungsdruck von über 27 bar bzw. 400 psi nie überschritten werden soll. Anschließend wird der Knochenzement angerichtet und jeweils bis zu 1,5 ml in einen Zementapplikator gefüllt. Dieser wird unter niedrigem Druck langsam von ventral nach dorsal eingefüllt, um Luft einschließen zu vermeiden, bis der Hohlraum gefüllt ist. Auch hier sind kontinuierliche radiologische Kontrollen in zwei Ebenen erforderlich, um einen etwaigen Zementaustritt sofort zu erkennen und die Prozedur sofort abbrechen zu können. Nach dem Aushärten des Zementes wird nach circa 8 Minuten die Arbeitskanülen entfernt und die Inzisionen vernäht. (22,33,35)

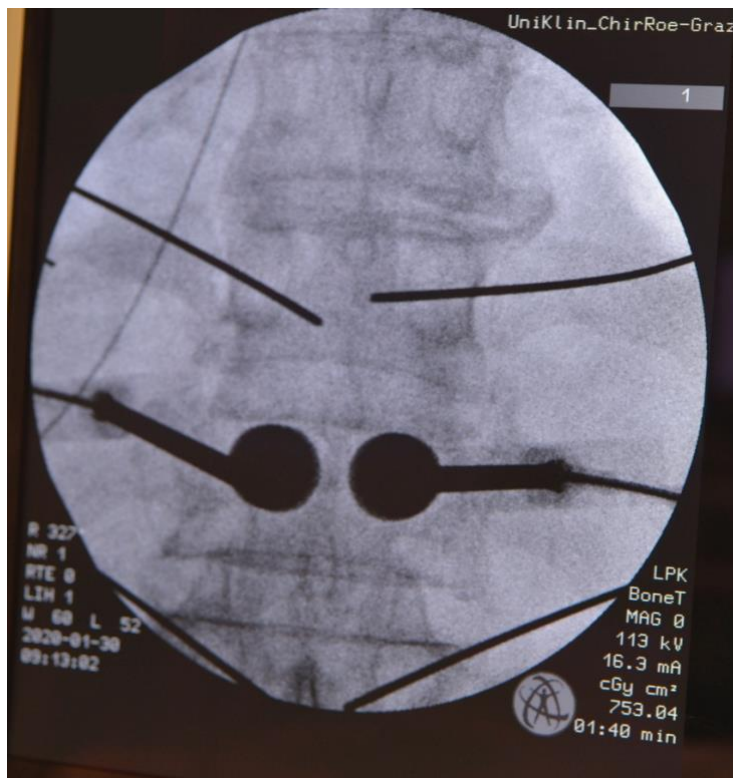


Abbildung 5: intraoperative Lage der Kyphoplastieballone

Anschließend erfolgt die dorsale Stabilisierung. Hierzu wird an den kranial und kaudal des frakturierten Wirbels angrenzenden Pedikeln das gleiche Vorgehen, von Stichinzision bis zum Einbringen der Führungsdrähte, durchgeführt. Danach erfolgt eine weichteilschonende 3-stufige Dilatation bis auf den Wirbel ohne Herausrutschen der Führungsdrähte. Über die liegenden Führungsdrähte wird anschließend Gewinde geschnitten und die Länge des Gewindekanals zur

Bestimmung der Schraubenlänge ausgemessen. Das Gewinde sollte eine Größe unterhalb des im präoperativ gemessenen Pedikeldurchmessers liegen. Die Pedikelschrauben werden mit einer Verlängerung an deren Köpfen über die Drähte platziert und unter radiologischer Kontrolle festgezogen. Hierbei könnten sich die Gewindedrähte in den kanülierten Schrauben verklemmen und folglich die ventrale Kortikalis und die davor liegenden Strukturen verletzen. Mit einem Messzirkel wird die Länge der beiden Längsstäbe bestimmt, vorgebogen und an einem Stabeinführungsinstrument befestigt. Durch die Schraubenverlängerungen werden die beiden Schrauben auf einer Seite manuell in eine Linie gebracht und der Längsstab mit den Sextanten über eine kraniale Stichinzision durch die Schraubenköpfe geführt. Bevor der Stab mit Verschlusschrauben, die in die Schraubentulpen eingeführt wurden, und einem Drehmomentschraubenzieher festgezogen werden, muss die Fraktur gegebenenfalls noch reponiert werden. Anschließend werden die Instrumente auf der einen Seite entfernt und das Procedere auf der Gegenseite wiederholt, bevor eine radiologische Schlusskontrolle und ein schichtweise Wundverschluss erfolgt. (22,31,34,36)

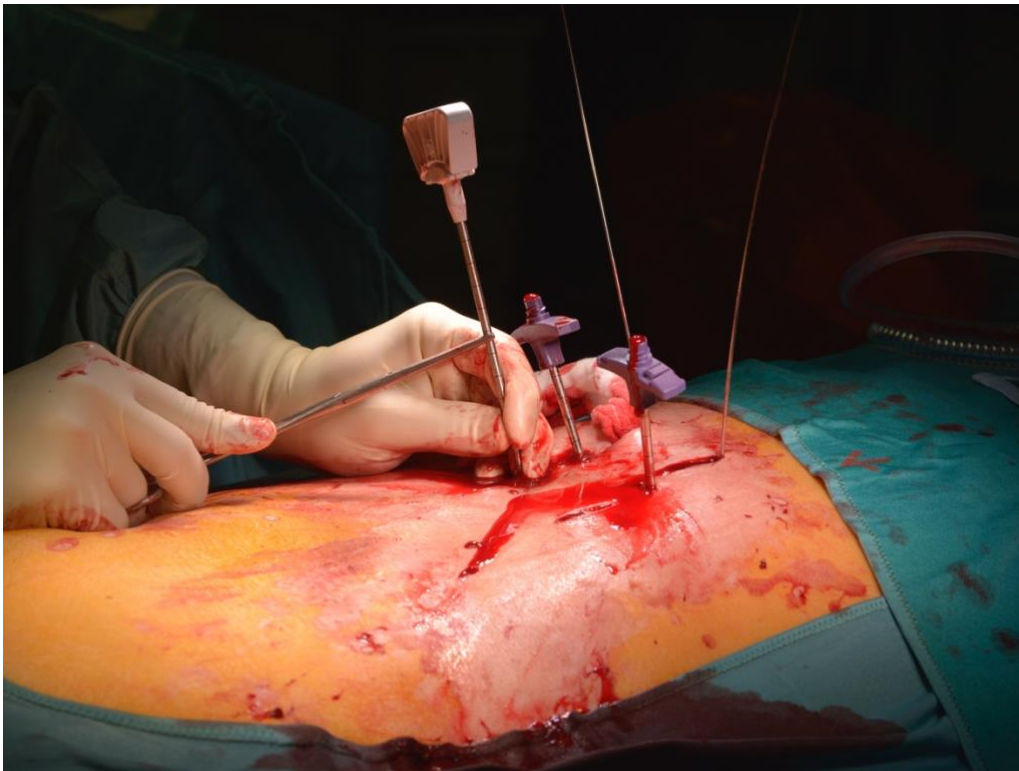


Abbildung 6: Eröffnen des kaudalen Pedikels

Bei der Verwendung von Pedikelschrauben kann zwischen mono- und polyaxialen Schrauben gewählt werden, wobei die Entscheidung vor allem vom Repositionsergebnis nach der Lagerung abhängt. Bei polyaxialen Schrauben ist der Schraubenkopf zum Längsträger ausgerichtet und beweglich. Dadurch können diese einfach an den Schrauben fixiert werden, jedoch ist keine aktive Reposition über den Längsträgern zu erreichen. Lediglich bei manchen Systemen kann bei durch spezielle Instrumente über die Schraubenhülsen noch eine weitere Reposition erreicht werden. Ist das Repositionsergebnis unzureichend, kann mit monoaxialen Schrauben instrumentiert werden und mit der Stabbiegung eine weitere Lordosierung erreicht werden. Da bei Wirbelkörperfrakturen in der Nähe des Kreuzbeines oftmals keine starken kyphotischen Fehlstellungen vorhanden sind, wird hier oftmals auf polyaxiale Systeme zurückgegriffen. (8,22)

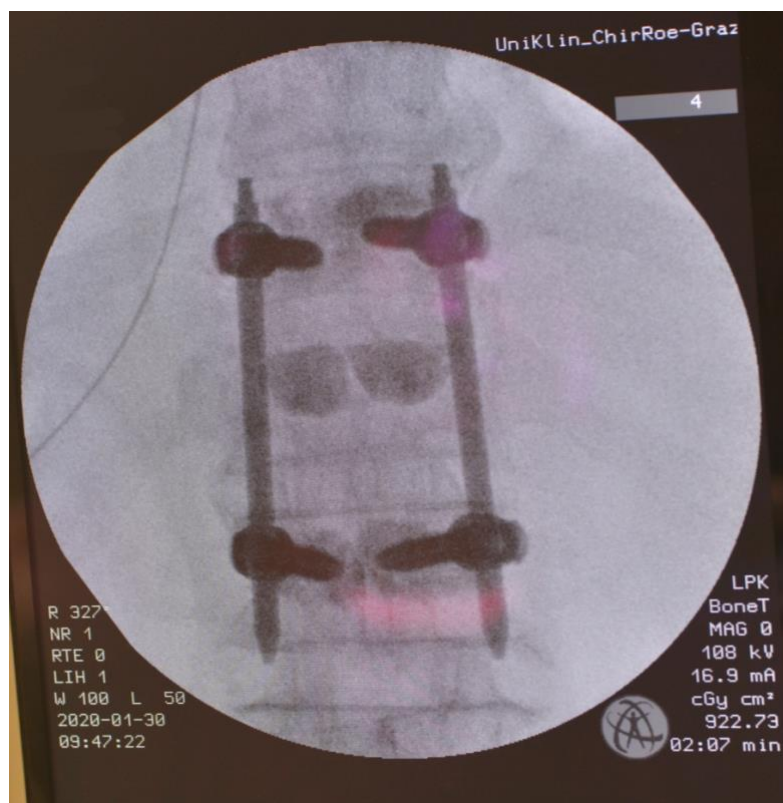


Abbildung 7: intraoperatives Abschlussröntgen

1.3.2.5 Nachbehandlung

Nach der Operation erfolgt ein 2-5-tägiger stationärer Aufenthalt. Wurde bei der Kypho-/Vertebroplastie PMMA Zement verwendet, können die PatientInnen bereits am gleichen Abend voll mobilisiert werden. Bei CaPh empfiehlt sich eine achsengerechte Rückenlagerung ohne Torsionen für 24h, da dieses Material länger zum Erreichen der endgültigen Belastbarkeit benötigt. Es folgt das Einleiten einer Thromboseprophylaxe, Frühmobilisation ab dem nächsten Tag, Rückenschulung, Anfertigung eines Röntgenbildes stehend in zwei Ebenen, stabilisierende Physiotherapie für 4 Wochen. Nach 14 Tagen erfolgt die Nahtentfernung und eine klinisch radiologische Verlaufskontrolle. Eine mobilisierende Physiotherapie zur Stärkung der Muskulatur wird empfohlen. Weitere klinische Kontrollen nach einem, drei und sechs Monaten. Eine Computertomographie wird bei neu aufgetretener Neurologie und Verdacht auf Schraubenfehlage angefertigt werden.

Eine forcierte Flexion sowie das Heben von schweren Lasten sollte in den ersten 3 Monaten vermieden werden. Das dorsale Osteosynthesematerial wird bei jungen PatientInnen im Regelfall nach 6 bis 12 Monaten entfernt. (10,16,21,26)

1.4 Knochenersatzstoffe

Knochenersatzstoffe können synthetisch oder natürlich vorkommend sein, beide dienen sie jedoch dem Ersatz körpereigenen Knochens und sollen dessen Integration und Neubildung fördern. Es kann zwischen osteogenen (kann selbst Knochen bilden), osteokonduktiven (fördert auf seiner Oberfläche die Bildung neuen Knochens) und osteoinduktiven (kann Knochenbildung anstoßen/fördern) Knochenersatzstoffen unterschieden werden. Die meisten synthetischen Ersatzstoffe dienen als Vorlage für den sich neu bildenden Knochen und sind meistens osteokonduktiv. Seit über 70 Jahren werden verschiedenste Arten von Knochenzementen zur Defektfüllung nach einem Trauma oder bei malignem Geschehen verwendet. Die wichtigsten Eigenschaften eines Knochenzementes sind die mit den Eigenschaften eines körpereigenen Knochens vergleichbaren Eigenschaften, eine angemessene Viskosität und folglich die leichte Injizierbarkeit,

eine gute Röntgenkontrastgebung und eine gute Verbindung von Knochen und Zement. (37-39)

1.4.1 PMMA Zement

Obwohl die aktuelle Studienlage keine Empfehlungen für die Verwendung eines speziellen Zementes bzw. Produktes bei der Kyphoplastie geben kann, wird Polymethylmethacrylat dennoch schon am längsten und häufigsten verwendet. Der Zement ist nicht osteokonduktiv und nicht osteoinduktiv, somit kommt es zu keiner ossären Integration, wodurch der Zement als Fremdkörper im Wirbel verbleibt. Welchen biologischen Effekt dies zur Folge hat, ist noch nicht geklärt. Daher wird dieser Zement häufiger bei älteren PatientInnen bzw. bei PatientInnen mit geringerer Lebenserwartung verwendet. Ein großer Nachteil des PMMA Zements ist seine exotherme Polymerisation, wo der Zement bis zu 60°C erreicht, wodurch es beim Aushärten zu Hitzeschäden der umliegenden Nerven- bzw. Gefäßstrukturen kommt. Außerdem kann es aufgrund von unvollständiger Polymerisation zu toxischen Monomeren kommen und folglich kardiopulmonale Effekten auslösen mit Blutdruckabfall, embolischem Geschehen bis hin zu einer systemischen Reaktion. Aufgrund dieser Nachteile wurde nach Alternativen gesucht und vermutlich in Biomaterialien auf Calciumphosphatbasis gefunden. (35,38-41)

1.4.2 Calciumphosphatzement

Calciumphosphat (CaPh) wurde 1983 durch Brown und Chow entdeckt und ist ein anorganisches Knochenersatzmaterial. Es besteht aus einer Pulver- und einer wässrigen Komponente, bei deren Mischung eine formbare Paste entsteht. Durch Sedimentation einer CaPh-Verbindung kommt es zu einer Härtingsreaktion, die vergleichbar mit der eines Gipses ist. Während der Abbindereaktion bilden sich Kristallite, die sich verfilzen, wodurch der Zement seine Festigkeit erhält. Da diese Sedimentationsprozesse jedoch am Ende der Härtingsphase noch nicht vollendet sind, erreicht er seine endgültige Stabilität erst nach einigen Stunden bis Tagen.

Sein Aushärtungsprozess ist im Vergleich zum PMMA Zement isotherm und es kommt zu keinen Hitzeschäden der umliegenden Strukturen. CaPh-Zement ist osteokonduktiv und erlaubt somit eine Knochenapposition bei gleichzeitiger Resorption des Biomaterials. Aufgrund seiner Strukturähnlichkeit mit dem menschlichen Knochen hat es eine gute Biokompatibilität und kann im Rahmen des Knochenumbaus resorbiert und durch Knochengewebe ersetzt werden. Hiermit scheint eine ernst zu nehmende Alternative zum PMMA Zement gefunden worden zu sein und eine Ausweitung des Indikationsspektrums der Kyphoplastie auf jüngere Patientinnen erfolgte.

Aufgrund seines hydrophilen Charakters kann es jedoch bei Kontakt mit Blut oder Knochenmark während der Aushärtephase zu einer Beeinträchtigung der Festigkeit, Desintegration des Zementkörpers und sogar zum Auswaschen des Zementes kommen. Außerdem ist die Spanne zwischen körpereigenem Knochenzubau und Zementresorption noch ungeklärt, wodurch es zu einer zu frühen Resorption vor der vollständigen Knochenheilung kommen könnte und es verbleiben Hohlräume. Baut er sich zu schnell ab, ist er für die Osteoklasten nur noch bedingt zugänglich und er verbleibt im Körper, ohne in eigenen Knochen umgebaut zu werden. (35,37-43)

Der auf einen Wirbelkörper wirkende Axialdruck kann beim gesunden Menschen zwischen 2 und 20 MPa betragen. CaPh hält einen axialen Druck von ~55 MPa und PMMA einen Druck von 95 MPa stand. Für Zug-, Scher- und Biegekräfte sollten die Materialien >30 MPa verkraften, wobei PMMA mit 37 MPa diesen Anforderungen entspricht, CaPh jedoch nur 3 MPa standhält. Radiologisch sind dadurch Zementrisse oder Resorptionszonen sichtbar. Da vor allem PMMA die Festigkeit des normalen Knochens deutlich übersteigt, kommt es bei Anwendung dieser zu einer unphysiologisch hohen Steifigkeit. Infolgedessen wirkt auf die Nachbarsegmente eine vermehrte Lastübertragung und das Risiko für Anschlussfrakturen steigt. (37-39,41)

Blattert untersuchte Berstungsfrakturen, die mit CaPh oder PMMA kyphoplastiert wurden. Nach der Operation zeigten sich bei beiden Varianten bei fast allen PatientInnen eine deutliche Schmerzlinderung. Früher nahmen UntersucherInnen an, dass dies aus der Hitzeentwicklung resultierte, welche die schmerzleitenden

Nervenfasern zerstören würde. Da es bei CaPh jedoch zu keiner Hitzeentwicklung kommt, die PatientInnen jedoch ebenfalls postoperativ schmerzfrei waren, entwickelten sie eine neue Theorie: durch die interne Stabilisierung kommt es zu einer Reduktion der Mikrobewegungen und Reizung des Periostes und folglich zu einer sofortigen Schmerzreduktion. Blattert entdeckte jedoch, dass 1 Jahr nach Kyphoplastie mit CaPh die Schmerzen nur gering weniger waren, als präoperativ. Diese Studie verglich allerdings stand alone Kyphoplastien, daher dürfte die geringere Stabilität des CaPh Zementes, ohne der dorsalen Instrumentierung, die häufigeren Korrekturverluste in der CaPh Gruppe erklären. (39,41)

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob es einen Zusammenhang zwischen radiologischen und funktionellen Ergebnissen bei PatientInnen nach Kyphoplastie mit Calciumphosphat und dorsaler Stabilisierung gibt.

Dazu wurden an der Univ.- Klinik für Orthopädie und Traumatologie Graz mittels Computerrecherche PatientInnen mit traumatischen A3 oder A4 Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule, deren Frakturen mittels Kyphoplastie mit Calciumphosphat und dorsaler Stabilisierung versorgt wurden, gesucht. Sofern die in von uns gesetzten Einschlusskriterien zutrafen und es keinen Ausschlussgrund gab, wurden die PatientInnen telefonisch nach Ihrem Interesse an der Teilnahme der Studie gefragt.

Sollten sie dem zugestimmt haben, erfolgte eine Nachuntersuchung in unserer Ambulanz, wo sie eine ausführliche Aufklärung über das Procedere erhielten. Sofern sie einverstanden waren unterschrieben sie das informed consent und der Fragebogen zur körperlichen Beeinträchtigung (Oswestry Disability Index) wurde ihnen zum Ausfüllen gegeben. Anschließend wurden die Wirbelkörperhöhen an der Vorderkante, in der Wirbelkörpermitte und an der Hinterkante, sowie der bisegmentale Kyphosewinkel nach Cobb anhand der radiologischen Bilder vor der Operation, nach der Operation, vor der Metallentfernung und mindestens 6 Monate nach der Metallentfernung erhoben. Sollte zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung noch kein radiologisches Bild von über 6 Monaten nach der Metallentfernung vorliegen, erfolgte zusätzlich die Durchführung einer radiologischen Kontrolle.

Diese retrospektive Studie wurde von der Ethikkommission Graz unter der Nummer EK28-402 ex15/16 zugelassen.

2.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterien:

- PatientInnen, die sich eine traumatische, monosegmentale A3 oder A4 thorakolumbale Fraktur ohne neurologische Symptome zugezogen hatten
- PatientInnenalter > 16 Jahre
- PatientInnen, die zwischen 2013 und 2018 am LKH Univ. – Klinikum operativ mit Kyphoplastie und dorsaler Stabilisierung versorgt wurden
- Verwendung von Calciumphosphat zur Zementaugmentierung
- Die Implantatentfernung muss mindestens 6 Monate nach dem letzten Untersuchungszeitpunkt zurückgelegen sein
- Radiologische Bilder (Röntgen, CT oder ggf. auch MRT) vor der Operation, nach der Operation, vor der Metallentfernung, sowie 6 Monate nach der Metallentfernung müssen vorliegen
- Unterschriebenes Einverständnisformular

Ausschlusskriterien:

- Vorliegende Schwangerschaft oder Stillzeit
- Typ B oder C Frakturen nach aktueller AOSpine Klassifikation
- bekannte Osteoporose
- Gebrechlichkeit
- angrenzende weitere Wirbelfrakturen
- Relevante degenerative Veränderungen
- Relevante Begleitverletzungen im Rahmen eines Polytraumas, das zu andauernden Schäden geführt hat, bzw. den Oswestry Disability Index verfälschen könnte.

2.3 Radiologische Auswertung

Zur radiologischen Auswertung wurden jeweils an vier radiologische Bilder vermessen: eines vor der Operation, eines nach der Operation, eines vor der Metallentfernung und eines das mindestens 6 Monate nach der Metallentfernung gemacht wurde. Die Vermessung erfolgte einerseits mit der integrierten

Vermessungsfunktion des Bildarchivierungssystems PACS der Univ. Klinik Graz, andererseits manuell an den ausgedruckten Bildern mittels Geodreieck.

Die Initialdiagnostik erfolgte meistens mittels konventionellem Röntgen zur Lokalisation der Fraktur. Die folgende Computertomographie diente zur Klassifizierung der Fraktur, Beurteilung der Hinterkante sowie des Spinalkanals. Die folgenden Bilder waren oftmals konventionelle Röntgenbilder im Stehen oder seltener im Liegen.

An der sagittalen Aufnahme erfolgte das Höhenmessen der Wirbelkörpervorderkante, -mitte und -hinterkante von Deck- zu Grundplatte wobei immer die des frakturierten Wirbels und die der kranial und kaudal angrenzenden Wirbelkörper gemessen wurde. Anhand der gemessenen Werte der angrenzenden Wirbelkörper wurde die relative Wirbelkörperhöhe ermittelt. Die Höhe des frakturierten bzw. kyphoplastierten Wirbel wurde dazu in Relation gesetzt, wodurch sich ein prozentueller Höhenverlust ergab.

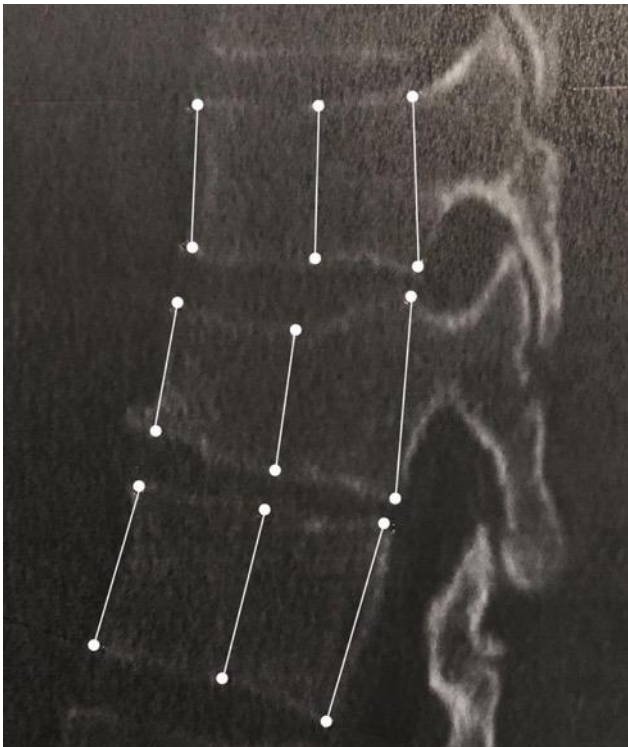


Abbildung 8: Messung der Wirbelkörperhöhe

Zum Messen des bisegmentalen Kyphosewinkels nach Cobb wurde eine Gerade an der Deckplatte kranial des frakturierten Wirbels, und eine Gerade an der Grundplatte des kaudal angrenzenden Wirbels angelegt. Im rechten Winkel dazu wurden weitere Geraden gezeichnet, die sich entweder ventral oder kaudal der Wirbelsäule kreuzen, und dessen Winkel abgelesen wurde. Liegt eine Lordose vor, sind die Werte negativ, bei einer Kyphose ist der Winkel positiv.

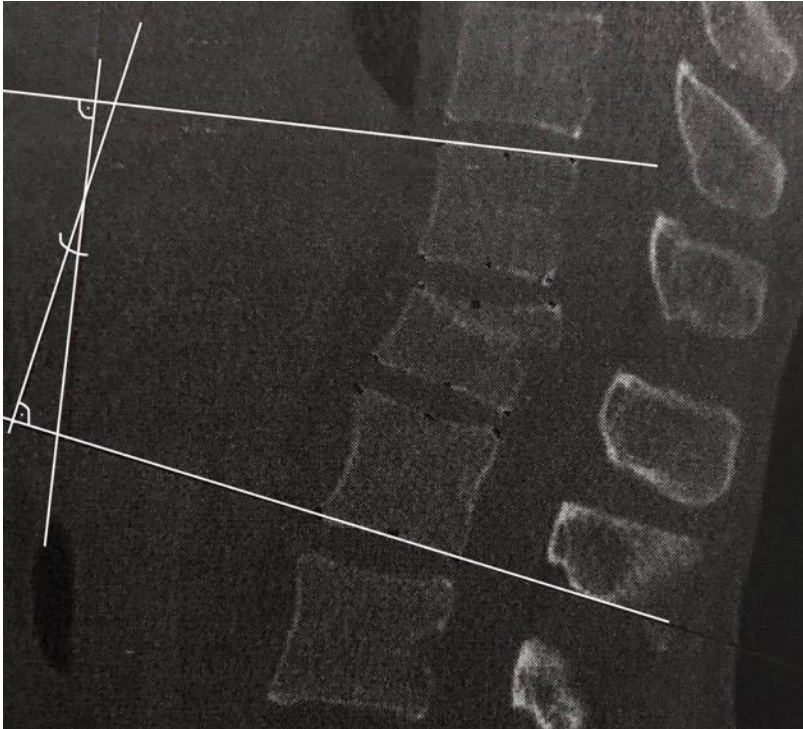


Abbildung 9: Messung des Cobb-Winkels

2.4 Körperliche Beeinträchtigung, Oswestry Disability Index

Der Oswestry Disability Index (ODI) wurde 1976 von O'Brian entwickelt und hat sich seit seiner Publizierung 1980 zu einem der am häufigsten verwendeten Fragebögen zur Ergebnisevaluierung bei Wirbelsäulenerkrankungen etabliert. Allein im Jahr 2000 wurden der Fragebogen bei über 200 wissenschaftlichen Publikationen verwendet und zitiert. Über die Jahre hinweg wurde der Fragebogen von verschiedensten Wissenschaftlern weiterentwickelt bis im Jahre 2000 die neueste Version entwickelt wurde.

Der Fragebogen kann von den PatientInnen selbst ausgefüllt werden, wobei die subjektive Stärke der Beeinträchtigung in 10 verschiedenen Lebensbereichen abgefragt wird. Es kann jeweils zwischen 0 (keine Einschränkung) und 5 (maximalste Beeinträchtigung) Punkte vergeben werden können, wodurch maximal 50 Punkte zu erreichen sind. Die erreichten Punkte werden anschließend prozentual umgerechnet und anhand der vorliegenden Tabelle das Ausmaß der Beeinträchtigung abgelesen werden kann.

Ein Testergebnis von 0-20% bedeutet minimale Behinderung, 21-40% ergeben eine mäßige Behinderung, von 41-60% liegt eine starke Behinderung vor, 61-80% bedeutet invalidisierend und ab einem Prozentwert von über 81% lautet das Ergebnis „bettlägrig“.

Der Fragebogen unterscheidet nicht zwischen Frauen und Männern, jedoch gibt es Studien, die gezeigt haben, dass Frauen öfter einen höheren ODI Score haben als Männer. (44)

2.5 Statistische Auswertung

Die Auswertung der Daten erfolgt mittels deskriptiver Statistik. Für numerische Daten werden die Mittelwerte und die Standardabweichungen berechnet und die Spannweite angegeben. Kategorische Daten werden als absolute und relative Häufigkeiten dargestellt.

Die statistische Analyse erfolgte mittels SPSS® Statistics von IBM®. Das Vorhandensein von mehreren p-Values wurde vermieden und die statistische Signifikanz nur in auserwählten Situationen erwähnt. Die statistische Signifikanz wurde mittels paired t-test gemäß der Normalverteilung der Daten überprüft bzw. mittels Wilcoxon signed-rank test, wenn die Normalverteilung der Grundgesamtheit nicht erfüllt war. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ eingestellt.

Anschließend wurden die jeweiligen Korrelationskoeffizienten zwischen ODI und den jeweiligen Korrekturverlusten an der Vorderkante, Wirbelkörpermitte, und Hinterkante und ebenso des Kyphosewinkels berechnet und grafisch dargestellt.

Für die Korrelationsanalyse wurden die PatientInnen anhand des beobachteten Korrekturverlustes in 3 Gruppen ($<5^\circ/\%$, $5-10^\circ/\%$ und $>10^\circ/\%$) eingeteilt. Die Berechnung des Korrelationskoeffizienten erfolgte nach Spearman.

3 Ergebnisse

3.1 PatientInnen

Bei der Computerrecherche wurden 86 PatientInnen gefunden, wovon 8 nicht kontaktiert werden konnten, 20 kein Interesse zeigten und 7 nicht zur Nachuntersuchung erschienen sind. Somit konnten 59,3% der gefundenen PatientInnen tatsächlich in der Studie untersucht werden.

Von diesen 51 TeilnehmerInnen waren 32 männlich (62,7%) und 19 weiblich (37,3%). Die Altersspanne reichte von 16-64 Jahren, wobei das Durchschnittsalter bei den Frauen und Männern mit 41,3 bzw. 40,7 Jahren annähernd ident war. Von drei PatientInnen lagen bereits alle benötigten radiologischen Bilder vor, wodurch diese nur den Oswestry Fragebogen und den Informed Consent zugeschickt bekamen und kein Ambulanzbesuch nötig war.

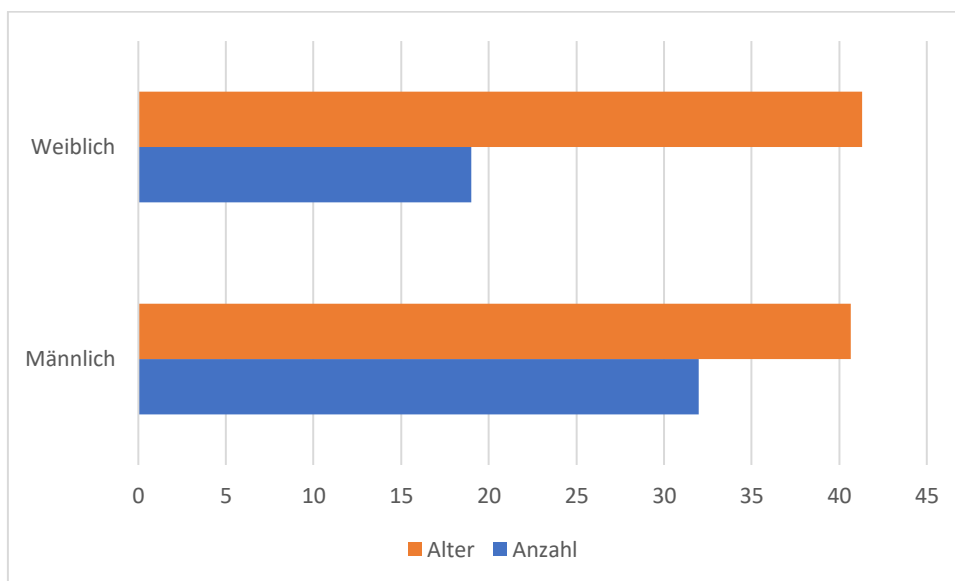


Abbildung 10: TeilnehmerInnenanzahl und Alter

3.2 Frakturlokalisierung und Klassifikation

Von den untersuchten 51 Fällen erlitten nach der aktuellen AOSpine Klassifikation 30 PatientInnen eine A3 Berstungsfraktur und 21 PatientInnen eine A4 Fraktur beider Endplatten mit Hinterkantenbeteiligung.

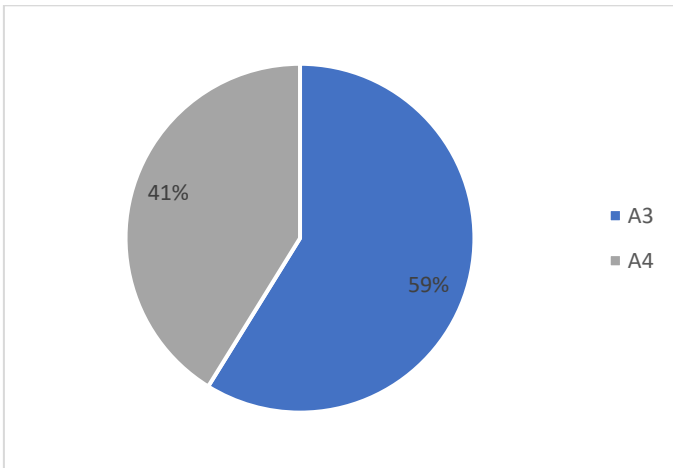


Abbildung 11: Häufigkeit verschiedener Frakturklassifikationen

Die Brustwirbelsäule war in 20 Fällen (39,2%) frakturiert und die LWS 31 Mal (60,8%), wohingegen der am häufigsten betroffene Wirbel der 1 Lendenwirbelkörper mit 15 (29,4%) von 51 Fällen war.

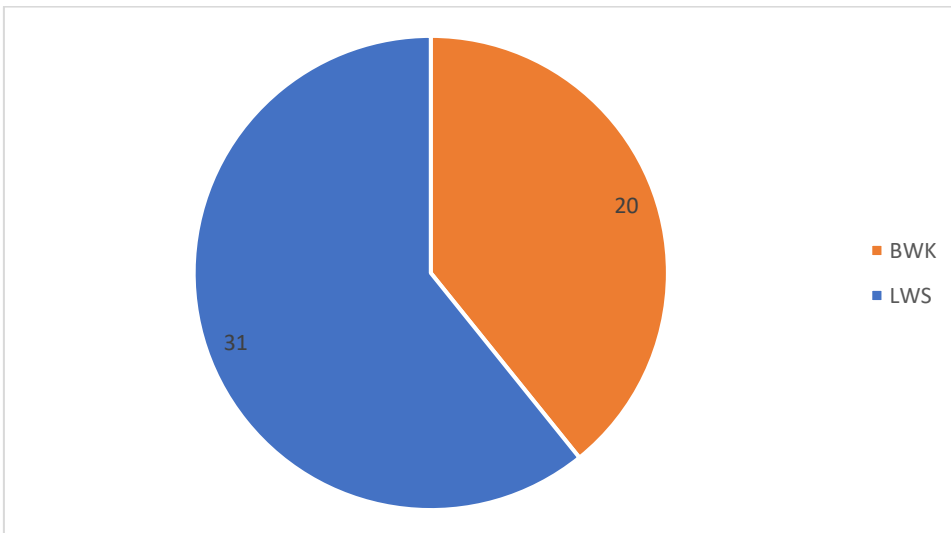


Abbildung 12: Frakturlokalisation 1

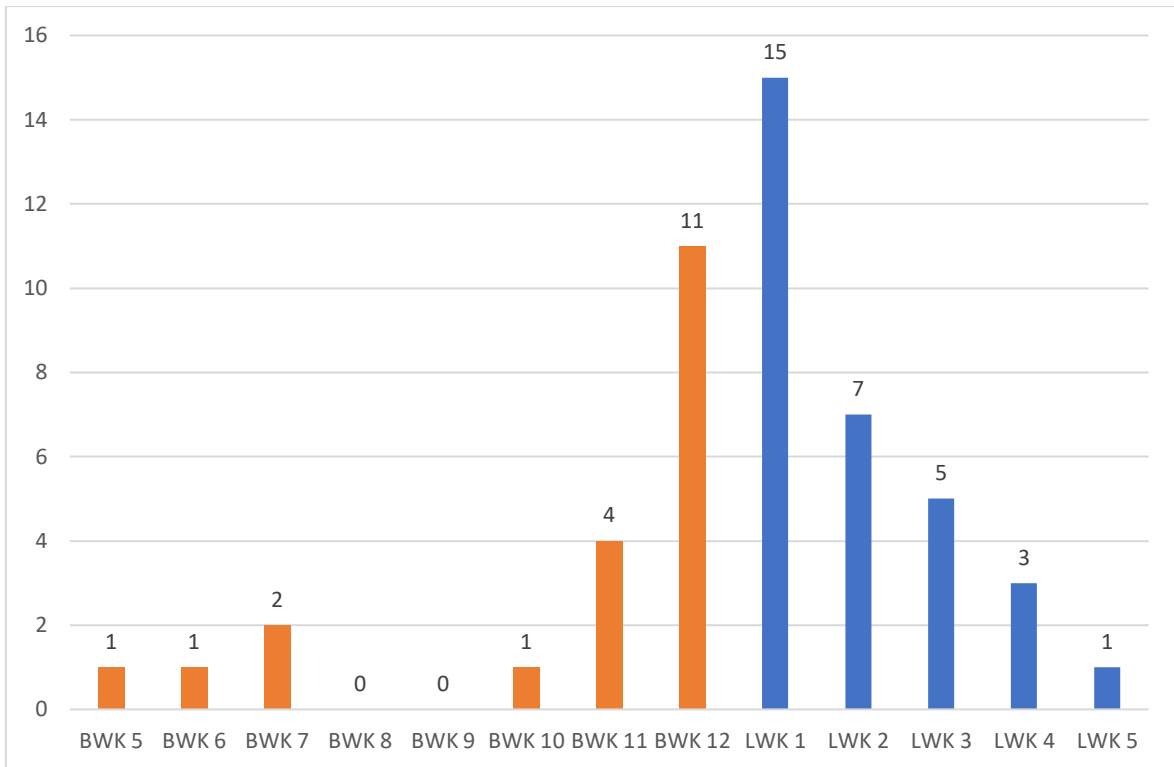


Abbildung 13: Frakturlokalisierung 2

Der thorakolumbale Übergang, von BWK 11 bis LWK 2, ist wie bereits im ersten Kapitel erwähnt, anfällig für Frakturen, da hier die physiologische Kyphose in eine Lordose übergeht. Dies wurde auch hier bestätigt, da 37 von 51 Frakturen in diesem Bereich verzeichnet werden konnten und somit der thorakolumbale Übergang in fast drei Viertel der Fälle betroffen war.

3.3 Radiologische Ergebnisse

Wirbelkörperhöhe:

	Präoperativ	Postoperativ	Vor MEX	6m nach MEX
Vorderkante	66,3	91,3	87,3	85,1
WK-Mitte	65,9	89,1	86,1	86,2
Hinterkante	90,8	97,0	95,3	95,8

Tabelle 7: Relative Wirbelkörperhöhe in %

Die Wirbelkörpervorderkante war vor der dorsalen Stabilisierung und Kyphoplastie im Durchschnitt auf von 66,3% ihrer ursprünglichen Höhe gesunken, die Wirbelkörpermitte fiel ähnlich auf 65,9% und die Hinterkante auf 90,8%.

Nach der Operation zeigte sich eine Zunahme der Wirbelkörperhöhe an der Vorderkante um 25,0%, an der Wirbelkörpermitte von 23,2% und an der Hinterkante von 6,2%.

Dieses Repositionsergebnis konnte bis vor der Metallentfernung, die im Durchschnitt nach 11 Monaten (min. 3, max. 34) erfolgte, nicht zur Gänze erhalten werden. An der Vorderkante kam es zu Höheneinbußen von 4,0%, in der Wirbelkörpermitte von 3% und an der Hinterkante von 1,7%.

6 Monate nachdem die dorsale Stabilisierung entfernt wurde, zeigte die Wirbelkörpervorderkante eine relative Höhe von 85,1% und somit eine Verbesserung zum präoperativen Wert um 18,8%. Die Wirbelkörpermitte erreichte zum Zeitpunkt der letzten Untersuchung im Durchschnitt eine Höhe von 86,2% wodurch eine Höhensteigerung um 20,3% gelungen war. An der Hinterkante nahm die Höhe um 5% zu und erreichte eine relative Höhe von 95,8% im Vergleich zu den angrenzenden Wirbeln.

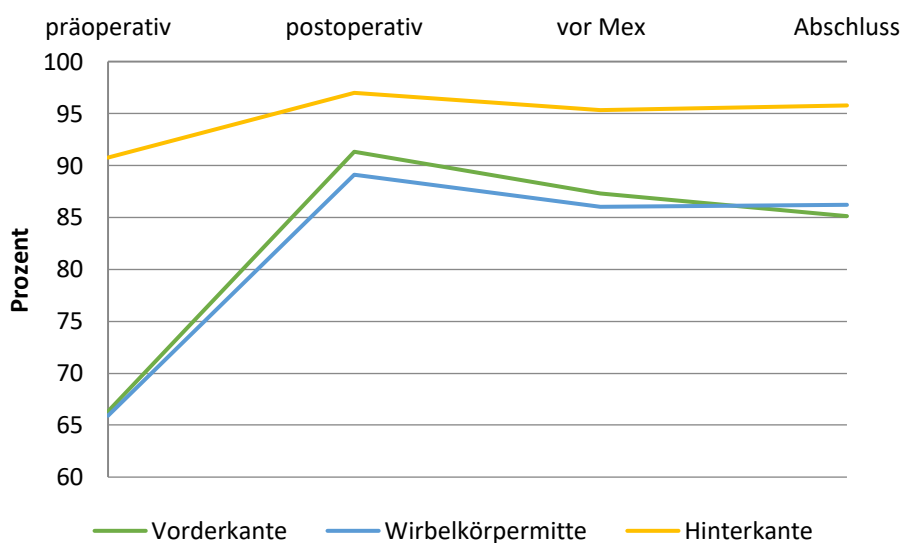


Abbildung 14: Ergebnisse der Wirbelkörperhöhe

Bisegmentaler Kyphosewinkel nach Cobb:

Präoperativ zeigte sich durchschnittlich ein Kyphosewinkel von 8° der sich nach der operativen Versorgung auf -0,8° verringert hatte. Vor der Metallentfernung betrug dieser Winkel 3,8° an bevor er nach der zweiten Operation wieder auf 5,1° anstieg.

Somit konnte der bisegmentale Kyphosewinkel, von vor der Operation bis mindestens 6 Monate nach der Metallentfernung, um 2,9° verringert werden.

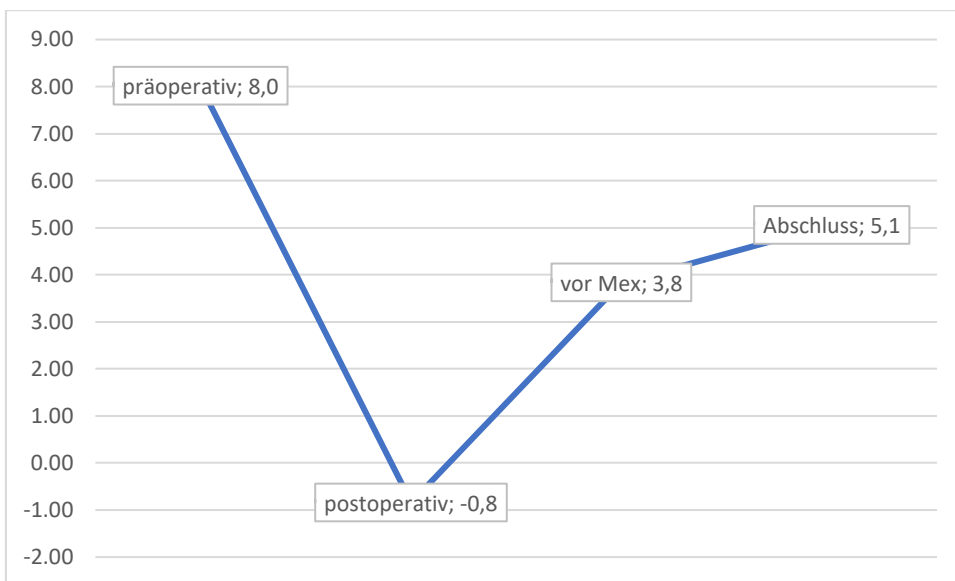


Abbildung 15: Verlauf des Kyphosewinkels

Insgesamt wurde ein durchschnittlicher Korrekturverlust, zwischen postoperativem Bild und 6 Monate nach Metallentfernung, von 5,9° (min. -4°, max. 21°) verzeichnet. In 6 Fällen (11,8%) nahm der Winkel im Verlauf zu, bei 20 Fällen (39,2%) kam es zu einem Korrekturverlust von 0-5° und bei 12 Fällen (23,5%) von $\geq 10^\circ$.

Gesamtauswertung:

Wirbelkörperhöhe an der Vorderkante				
	<i>Prozent</i>	<i>SD</i>	<i>Korrektur</i>	<i>p-Wert</i>
<i>Präoperativ</i>	66,3	15,69		
<i>Postoperativ</i>	91,3	7,75	25,0	0,000*
<i>Vor MEX</i>	87,3	10,15	-4,0	0,001*
<i>6m nach MEX</i>	85,1	11,09	-2,2	0,047*
<i>Präop. - nach MEX</i>			18,8	0,000*
Wirbelkörperhöhe in der Mitte				
	<i>Prozent</i>	<i>SD</i>	<i>Korrektur</i>	<i>p-Wert</i>
<i>Präoperativ</i>	65,9	13,51		
<i>Postoperativ</i>	89,1	10,07	23,2	0,000*
<i>Vor MEX</i>	86,1	10,01	-3,1	0,077
<i>6m nach MEX</i>	86,2	9,27	0,2	0,948
<i>Präop. - nach MEX</i>			20,3	0,000*
Wirbelkörperhöhe an der Hinterkante				
	<i>Prozent</i>	<i>SD</i>	<i>Korrektur</i>	<i>p-Wert</i>
<i>Präoperativ</i>	90,8	11,06		
<i>Postoperativ</i>	97,0	5,95	6,2	0,000*
<i>Vor MEX</i>	95,3	5,59	-1,7	0,137
<i>6m nach MEX</i>	95,8	6,15	0,5	0,702
<i>Präop. - nach MEX</i>			5,0	0,000*

Bisegmentaler Kyphosewinkel				
	<i>Winkel</i>	<i>SD</i>	<i>Korrektur</i>	<i>p-Wert</i>
<i>Präoperativ</i>	8,0	13,0		
<i>Postoperativ</i>	-0,8	13,6	-8,9	0,000*
<i>Vor MEX</i>	3,8	14,2	4,7	0,000*
<i>6m nach MEX</i>	5,1	15,3	1,2	0,143
<i>Präop. - nach MEX</i>			-2,9	0,000*

* = statistisch relevant

Tabelle 8: statistische Gesamtauswertung der radiologischen Parameter

3.4 Oswestry Disability Index

Nach Auswertung des Fragebogens betrug der mittlere Score 14,45% bei einem Range von 0-60%.

Von den untersuchten 51 PatientInnen lagen 36 (70,6%) in der Kategorie „minimale Behinderung“. An einer „mäßigen Behinderung“ litten laut Auswertung 11 PatientInnen (21,6%) und lediglich 4 PatientInnen fielen in die Kategorie „starke Behinderung“. Keiner der PatientInnen war als „invalidisierend“ oder „bettlägrig“ zu klassifizieren.

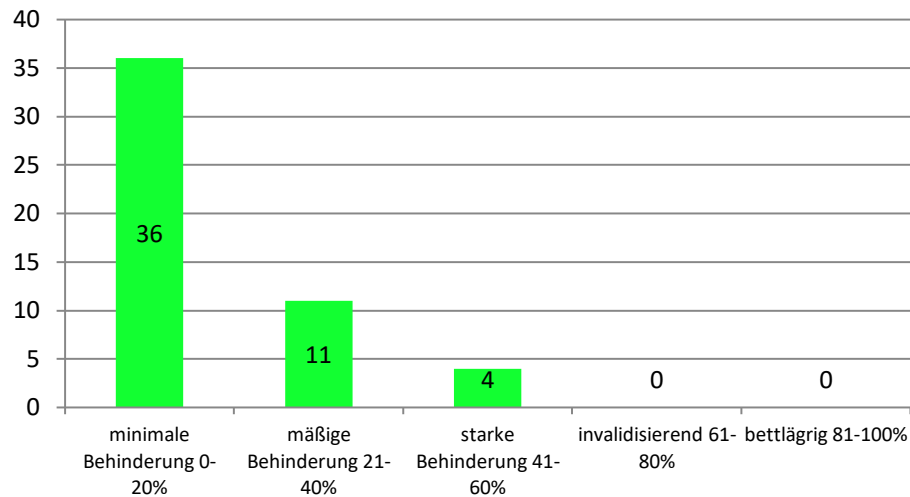


Abbildung 16: Oswestry Disability Index Ergebnisse

Alle vier Fälle von „starker Behinderung“ waren weiblich, obwohl lediglich 37,3% der TeilnehmerInnen Frauen waren. Von den Fällen mit „mäßige Behinderung“ waren 36,4% weiblich.

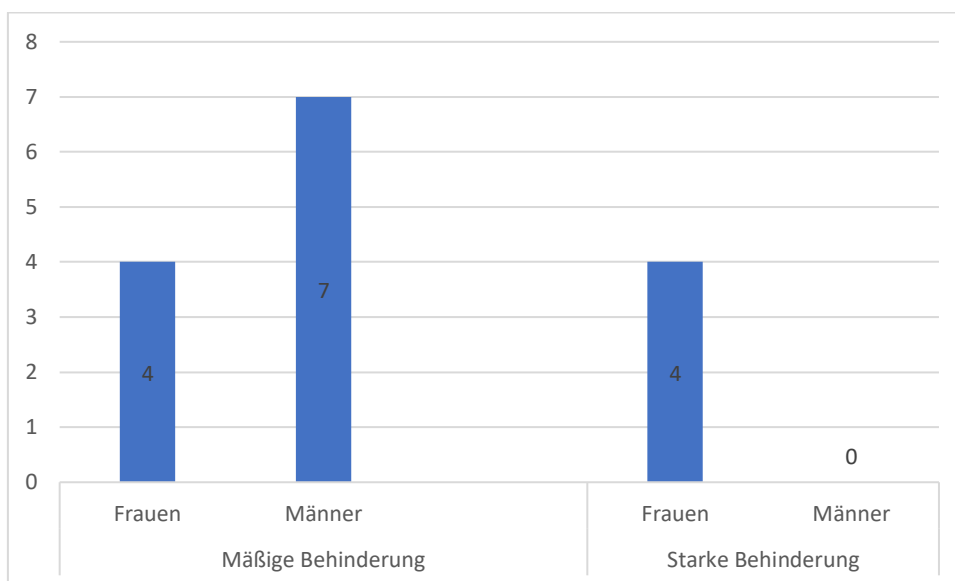


Abbildung 17: Geschlechterverteilung beim ODI Index

11 PatientInnen gaben 0 von 50 Punkten zu Protokoll, wodurch 21,6% der PatientInnen 6 Monate nach der Metallentfernung völlig beschwerdefrei waren.

3.5 Komplikationen

Im Laufe der Behandlung erlitten 2 PatientInnen eine Schraubenlockerung bzw. einen Schraubenbruch. Eine Patientin erkrankte nach der Metallentfernung an einer Pneumonie. Bei einem Patienten konnte das eingebrachte Stabilisierungsmaterial nicht zur Gänze entfernt werden und kaudal verblieb ein Pedikelschraubenrest. Es kam bei den 51 PatientInnen weder zu einem Zementaustritt in umliegende Strukturen noch zu Anschlussfrakturen oder systemischen Infektionen.

3.6 Korrelation zwischen radiologischem und funktionellem Outcome

Wie bereits erwähnt, wurde im Durchschnitt eine Kyphosekorrektur um 2,9° erreicht und der Wirbelkörper konnte an der Vorderkante, Mitte und Hinterkante um 18,8%, 29,3% bzw. 5,0% erhöht werden.

Vier Patientinnen (7,8%) fielen in die Kategorie „schwere Behinderung“, konnten jedoch eine Kyphosekorrektur von 4° und eine Zunahme der Wirbelkörperhöhe um 20,3%, 14,7% und 9,5% erreichen.

Es gab 12 PatientInnen (23,5%) deren Kyphosewinkel 6 Monate nach der Metallentfernung im Vergleich zum präoperativen Röntgen zunahm. Diese hatten einen durchschnittlichen ODI Score von 18,5% und sind somit in der ersten Kategorie „minimale Behinderung“. Die Patientinnen mit „starker Behinderung“ hatten einen durchschnittlichen Kyphosekorrekturwinkel von 3°.

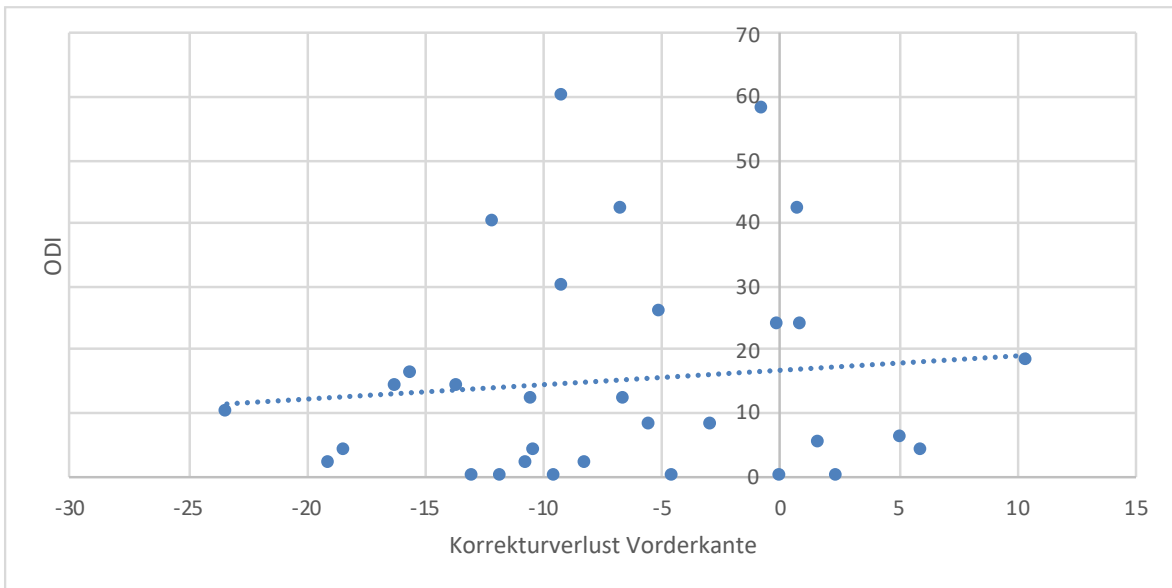


Abbildung 18: Korrelation zwischen ODI und Korrekturverlust Wirbelkörpervorderkante

Zwischen den Oswestry Disability Index Ergebnissen und dem Korrekturverlust der Wirbelkörpervorderkante zeigte sich ein Korrelationskoeffizient von 0,005 wodurch keine Korrelation vorliegt.

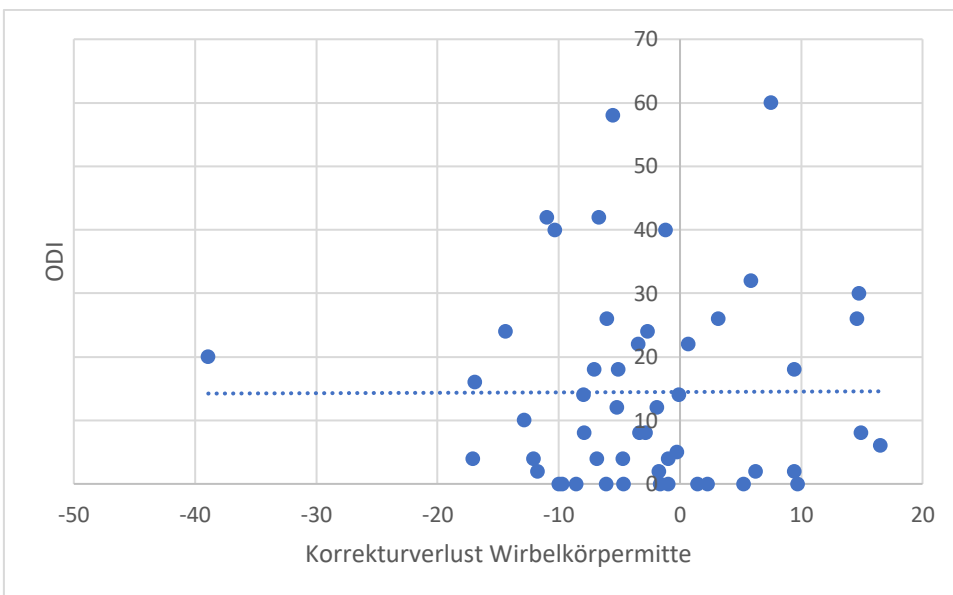


Abbildung 19: Korrelation zwischen ODI und Korrekturverlust Wirbelkörpermitte

Zwischen der Wirbelkörpermitte und dem ODI wurde ein Korrelationskoeffizient von 0,004 errechnet und somit ist auch hier keine Korrelation nachzuweisen.

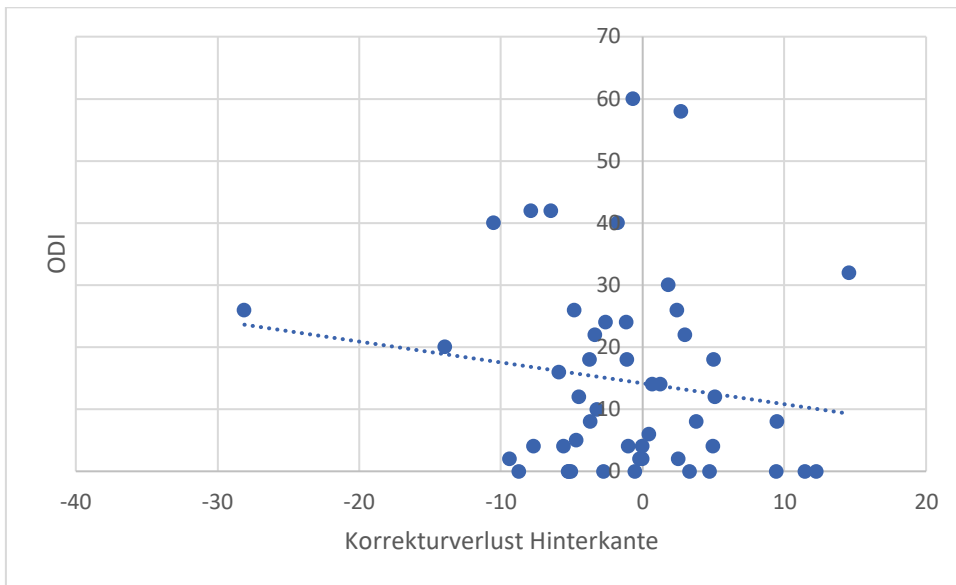


Abbildung 20: Korrelation zwischen ODI und Korrekturverlust Hinterkante

Beim Errechnen des Korrelationskoeffizienten zwischen Hinterkante und ODI zeigte sich ein Wert von -0,161.

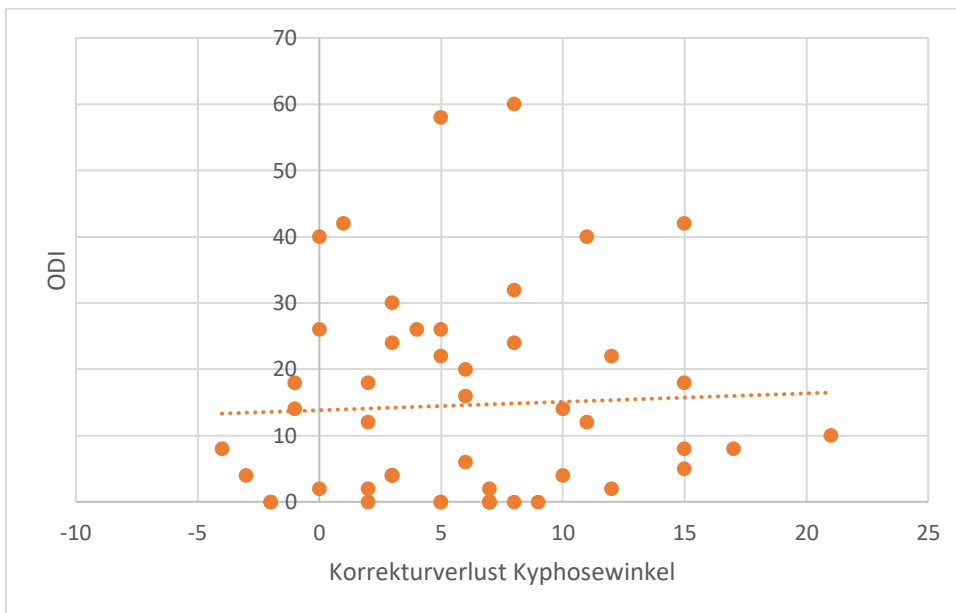


Abbildung 21: Korrelation zwischen ODI und Korrekturverlust Kyphosewinkel

Zwischen Kyphosewinkel und ODI Ergebnissen ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von -0,225 und es zeigt sich ein geringgradig negativer Zusammenhang dieser beiden Werte.

Wirbelkörpervorderkante			
Kategorie eingeteilt nach Höhenverlust	Fallzahl	Korrelation nach Spearman	Signifikanz
I (0-0,5%)	23	-0,052	0,718
II (5,01-10%)	11		
III (>10%)	17		
Wirbelkörpermitte			
I (0-0,5%)	29	0,139	0,332
II (5,01-10%)	13		
III (>10%)	9		
Wirbelkörperhinterkante			
I (0-0,5%)	38	0,163	0,253
II (5,01-10%)	10		
III (>10%)	3		
Kyphosewinkel			
I (0-0,5°)	26	-0,114	0,424
II (5,01-10°)	15		
III (>10°)	10		

Tabelle 9: Übersichtstabelle Korrelation nach Spearman und dazugehörige Signifikanz

4 Diskussion

Welche Behandlung bei Berstungsfrakturen zu bevorzugen ist, ist in der Literatur nicht einheitlich definiert. So konnten in verschiedensten Studien die Überlegenheit der operativen zur konservativen Therapie nicht eindeutig gezeigt werden, jedoch konnten folgende Punkte bewiesen werden:

- durch einen chirurgischen Eingriff können neurologische Defizite bei bis zu 87% beseitigt werden.
- bei hochgradig instabilen Verletzungen ist die operative Therapie klar indiziert
- die dorsale Reposition ist der ventralen überlegen
- im klinischen Outcome bestehen keine nachweisbaren Unterschiede zwischen dorsaler, ventraler oder kombinierter Operationsmethoden
- bei Berstungsfrakturen ist durch die zusätzliche ventrale Rekonstruktion radiologisch ein besseres Outcome zu erzielen

(8)

Shen et al. 2001 kamen zu der Entdeckung, dass die operative Therapie zwar zu einer schnelleren und stärkeren Schmerzreduktion führt als die konservative, jedoch hatten nach 24 Monate beide Untersuchungsgruppen wieder ähnliche Schmerzergebnisse. (45)

Hierbei ist jedoch anzumerken, dass keine einzige Studie gefunden werden konnte, die die kombinierte Operationstechnik von Kyphoplastie mit Calciumphosphat und dorsaler Stabilisierung, mit der konservativen Therapie verglich.

Bei der operativen Versorgung von Berstungsfrakturen haben viele Studien jedoch zeigen können, dass die kombinierte Stabilisierung der dorsalen und ventralen Säule zu einem besseren Ergebnis führt als eine alleinige dorsale Stabilisierung. Zur Stabilisierung der ventralen Säule scheint die Kyphoplastie der Vertebroplastie überlegen sein, da bei ihr weniger Zementaustritte beobachtet wurden. Ein weiterer Vorteil der Kyphoplastie ist die Durchführbarkeit im minimalinvasiven dorsalen Zugang. Obwohl der PMMA Zement heutzutage noch Goldstandard in

der Kyphoplastie sein zu scheitern, konnte mit dem Calciumphosphatzement eine gute Alternative gefunden worden sein. Durch seine isotherme Aushärtung und seiner Resorbierbarkeit ist dieser Knochenzement verträglicher und bei jungen PatientInnen zu bevorzugen. (8)

Laut einer Multicenterstudie der AG Wirbelsäule der DGU von Reinhold et al. 2009a ist bei Frakturen an der Wirbelsäule der thorakolumbale Übergang zu 69% und der erste Lendenwirbelkörper am häufigsten mit 28% betroffen. Diese Ergebnisse sind fast deckungsgleich mit den hier vorliegenden Werten von 73% bzw. 29%. (8)

An unserer Studie nahmen 63% Männer mit einem Durchschnittsalter von 41 Jahren teil. Nahezu deckungsgleiche epidemiologische Daten wurden von Reinhold et al. 2009a gefunden. Bei einem Kollektiv von 542 PatientInnen mit Fraktur an der Brust- oder Lendenwirbelsäule waren 63% Männer mit einem Durchschnittsalter von 42 Jahren, und 37% Frauen mit 47 Jahren. In ihrer zweiten Studie zeigten sie, dass ein kombiniertes dorsales und ventrales Verfahren nach BWK/LWK-Berstungsfraktur hauptsächlich an jungen PatientInnen mit einem Durchschnittsalter von 35 Jahre stattfand und dies somit die jüngste PatientInnengruppe darstellte. (46,47)

Im Durchschnitt konnte eine Reduktion des Kyphosewinkels von 8° auf $5,1^\circ$ erzielt werden. Dennoch war dieser Winkel postoperativ am besten korrigiert und im Beobachtungsverlauf kam es sukzessive zu einem Korrekturverlust. Eine Ursache dafür könnte die unterschiedliche Lagerung bei der Aufnahme der radiologischen Bilder sein. Anfänglich wurden die meistens Bilder im Liegen angefertigt, die Abschlussbilder jedoch alle im Stehen. Es ist nicht bekannt, ob die Lagerung der PatientInnen einen Einfluss auf den Kyphosewinkel hat.

Die Wirbelkörper konnten an der Vorderkante im Durchschnitt um 18,8%, in der Mitte um 20,3% und an der Hinterkante um 5,0% gehoben werden. Ähnliche Ergebnisse erzielten auch Bironneau et al. 2011 und Fuentes et al. 2010. Zu beachten ist auch, dass die Wirbelkörper zwischen postoperativem Ergebnis und

Metallentfernung den größten Repositionsverlust erlitten. Nach der Metallentfernung kam es zu statistisch insignifikanten Höhenverlusten. (48,49)

Ein durchschnittlicher ODI Score von 14,45% (min. 0%, max. 60%) ist ähnlich dem der bereits durchgeführten Studien von Bironnau et al. 2011 und Pelegri et al. 2008. Dies deutet daraufhin, dass ein Großteil der PatientInnen gut in ihre tägliche Routine zurückgefunden haben. (48,49)

Anhand der im drittel Kapitel dargestellten Ergebnisse lässt sich kein Zusammenhang zwischen klinischem und radiologischem Outcome finden. PatientInnen mit großen klinischen Beschwerden, wie einem hohen ODI Score, zeigten eine größere Besserung des Kyphosewinkels als die PatientInnen mit niedrigem ODI Score. PatientInnen, die einen starken Korrekturverlust erlitten bzw. deren Kyphosewinkel sich im Verlauf sogar verschlechterte, zeigten sich mit dem funktionellen Outcome jedoch zufrieden und waren schmerzbehaftet. Der Korrelationskoeffizient zwischen ODI Ergebnis und Wirbelkörpervorderkante betrug 0,005 und war somit fast ident mit dem zwischen ODI und Wirbelkörpermitte (0,004). Ein niedriger Korrelationskoeffizient von -0,161 an der Hinterkante bzw. -0,225 beim Kyphosewinkel mit dem ODI Ergebnis konnte gefunden werden, jedoch sind alle vier Werte zu niedrig, um hier eine Korrelation feststellen zu können.

Chow et al. 1996 fanden keinen Zusammenhang zwischen klinischen und radiologischen Ergebnissen bei der Nachuntersuchung von konservativ behandelten Berstungsfrakturen. (50)

Andreychik et al. 1996, Seybold et al. 1999, An et al. 1992 und Reinhold et al. 2009c) konnten zwar beweisen, dass eine chirurgische Versorgung zu einer zufriedenstellenden Wiederherstellung der Wirbelkörperhöhe und einem verringerten Kyphosewinkel führen kann, jedoch konnten auch sie keinen Zusammenhang zwischen klinischem und radiologischem Ergebnis finden. (8)

Auch wenn wir in unserer Studie kurz- und mittelfristig keinen signifikanten Zusammenhang zwischen radiologischem und funktionellem Outcome zeigen

konnten, bleibt doch die Frage offen, ob sich Fehlstellungen möglicherweise erst nach einer längeren Zeitspanne (>10 Jahre) in Form verfrühter Dekompensationen der sagittalen Balance äußern und dann erst Beschwerden machen. Prospektive Langzeitstudien zur Abklärung dieser Fragen sind auf jeden Fall noch nötig.

Zusammenfassung:

Die Kyphoplastie mit Calciumphosphat kombiniert mit dorsaler Stabilisierung scheint ein komplikationsarmes Verfahren mit zufriedenstellenden Ergebnissen zu sein. Ein Zusammenhang zwischen klinischem und radiologischem Outcome konnte nicht gefunden werden. Langzeituntersuchungen sind nötig, um sichere Aussagen über Spätfolgen von Korrekturverlusten treffen zu können.

5 Literaturverzeichnis

- (1) Anderhuber F, Pera F, Streicher J. Waldeyer - Anatomie des Menschen. 19th ed. Berlin: DeGruyter; 2012.
- (2) Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 4th ed. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2014.
- (3) Platzer W. Taschenatlas der Anatomie, Band 1: Bewegungsapparat. 12th ed. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2018.
- (4) Benninghoff A, Drenckhahn D. Anatomie: Makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie, Band 1. 16th ed. München: Urban & Fischer/Elsevier; 2004.
- (5) Paulsen F, Waschke J. Sobotta Atlas der Anatomie Band 1. 24th ed. München: Urban & Fischer/Elsevier; 2017.
- (6) Graichen H. Anatomische und funktionelle Aspekte von Brust- und Lendenwirbelsäule. *Der Orthopäde* 1999;28(5):424-431.
- (7) Rauber A, Kopsch F, Leonhardt H, Tillmann B. Anatomie des Menschen Lehrbuch und Atlas: Band 1 Bewegungsapparat. 1st ed. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 1987.
- (8) Börm W, Meyer F, Bullmann V, Knop C. Wirbelsäule interdisziplinär: operative und konservative Therapie. 1st ed. Stuttgart: Schattauer; 2017.
- (9) Bühren V. Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule. *Der Unfallchirurg* 2003;106(1):55-69.
- (10) Müller-Mai C, Ekkernkamp A. Frakturen: Klassifikation und Behandlungsoptionen. 1st ed. Berlin, Heidelberg: Springer; 2010.
- (11) Divi SN, Schroeder GD, Oner FC, Kandziora F, Schnake KJ, Dvorak MF, et al. AOSpine-Spine Trauma Classification System: The Value of Modifiers: A Narrative Review With Commentary on Evolving Descriptive Principles *Global Spine J* 2019 May 01;9(1 Suppl):77-88.
- (12) Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries *Eur Spine J* 1994;3(4):184-201.
- (13) Denis F. Spinal instability as defined by the three-column spine concept in acute spinal trauma *Clin Orthop Relat Res* 1984 October 01(189):65-76.
- (14) Holdsworth F. Fractures, dislocations, and fracture-dislocations of the spine *J Bone Joint Surg Am* 1970 December 01;52(8):1534-1551.

- (15) Wirth CJ, Zichner L, Krämer J. Orthopädie und Orthopädische Chirurgie: Wirbelsäule, Thorax. 1st ed. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2004.
- (16) Bühren V, Keel M, Marzi I, Augat P. Checkliste Traumatologie. 8th ed. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2016.
- (17) Vaccaro AR, Oner C, Kepler CK, Dvorak M, Schnake K, Bellabarba C, et al. AOSpine thoracolumbar spine injury classification system: fracture description, neurological status, and key modifiers Spine (Phila Pa 1976) 2013 November 01;38(23):2028-2037.
- (18) Breusch S, Clarius M, Mau H, Sabo D. Klinikleitfaden Orthopädie Unfallchirurgie. 8th ed. München: Urban & Fischer/Elsevier; 2016.
- (19) Raby N, Berman L, Morley S, de Lacey G. Accident and Emergency Radiology: A Survival Guide. 3rd ed. Philadelphia: Saunders Ltd./Elsevier; 2014.
- (20) MacRae R, Esser M. Praxis der Frakturbehandlung. 4th ed. München: Urban & Fischer/Elsevier; 2009.
- (21) Harrasser N, von Eisenhart-Rothe R, Biberthaler P. Facharztwissen Orthopädie Unfallchirurgie. 1st ed. Berlin, Heidelberg: Springer; 2016.
- (22) Pape H-, Hildebrand F. Basis OPs - Top 20 in der Unfallchirurgie. 1st ed. München: Urban & Fischer/Elsevier; 2014.
- (23) Ficklscherer A. Basics Orthopädie und Traumatologie. 4th ed. München: Urban & Fischer/Elsevier; 2014.
- (24) Winker KH. Facharzt Orthopädie Unfallchirurgie. 1st ed. München: Urban & Fischer/Elsevier; 2011.
- (25) Imhoff AB, Baumgartner R, Linke RD. Checkliste Orthopädie. 3rd ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2014.
- (26) Grifka J, Kuster M. Orthopädie und Unfallchirurgie. 1st ed. Berlin, Heidelberg: Springer; 2011.
- (27) Reiser M, Kuhn F-, Debus J. Duale Reihe Radiologie. 4th ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2017.
- (28) Ruchholtz S, Bücking B, Schulz R-. Alterstraumatologie. 1st ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2016.
- (29) Weiß T, Hauck S, Bühren V, Gonschorek O. Repositionsmöglichkeiten mittels perkutaner dorsaler Instrumentierung. Der Unfallchirurg 2014;117(5):428-436.
- (30) Müller ME, Allgöwer M, Schneider R, Willenegger H. Manual der Osteosynthese: AO Technik. 3rd ed. Berlin, Heidelberg: Springer; 1992.

- (31) M. Hackl. Repositionsergebnisse und Korrekturverluste nach perkutaner minimalinvasiver Versorgung der vorderen und hinteren Säule bei A3 und A4 Frakturen der thorakalen und lumbalen Wirbelsäule Medizinische Universität Graz; 2017.
- (32) Palaskali N. Ergebnisse nach dorsaler minimalinvasiver Spondylodese und Kyphoplastie. 2015.
- (33) DaFonseca K, Baier M, Grafe I, Libicher M, Noeldge G, Kasperk C, et al. OP-Technik der Ballonkyphoplastie. Der Unfallchirurg 2006;109(5):401-405.
- (34) Lendemans S, Hussmann B, Kauther MD, Nast-Kolb D, Taeger G. Minimal-invasive dorsale Stabilisierung der thorakolumbalen Wirbelsäule. Der Unfallchirurg 2011;114(2):149-160.
- (35) Voggenreiter G, Brocker K, Röhl B, Sadick M, Obertacke U. Ergebnisse der Ballonkyphoplastie in der Behandlung von osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen. Der Unfallchirurg 2008;111(6):403-413.
- (36) Pishnamaz M, Lichte P, Sellei RM, Pape H-, Kobbe P. Perkutane dorsale Stabilisierung der Brust- und Lendenwirbelsäule mit aktiver intraoperativer Repositionsmöglichkeit. Operative Orthopädie und Traumatologie 2015;27(5):439-447.
- (37) Arabmotlagh M, Rauschmann M. Füllmaterialien zur Augmentation von osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen. Der Orthopäde 2010;39(7):687-692.
- (38) Garcia P, Franz D, Raschke M. Knochenersatzmaterialien - Grundlagen und klinischer Nutzen. Z Orthop Unfall 2014;152(2):152-160.
- (39) DaFonseca K, Baier M, Grafe I, Libicher M, Noeldge G, Kasperk C, et al. Ballonkyphoplastie in der Therapie von Wirbelkörperfrakturen. Der Unfallchirurg 2006;109(5):391-400.
- (40) Wilke HJ, Mehnert U, Claes LE, Bierschneider MM, Jaksche H, Boszczyk BM. Biomechanical evaluation of vertebroplasty and kyphoplasty with polymethyl methacrylate or calcium phosphate cement under cyclic loading Spine (Phila Pa 1976) 2006 December 01;31(25):2934-2941.
- (41) Blattert T, Jestaedt L, Weckbach A. Suitability of a Calcium Phosphate Cement in Osteoporotic Vertebral Body Fracture Augmentation: A Controlled, Randomized, Clinical Trial of Balloon Kyphoplasty Comparing Calcium Phosphate Versus Polymethylmethacrylate. Spine (Phila Pa. 1976) 2009;34(2):108-114.
- (42) Ambard AJ, Mueninghoff L. Calcium phosphate cement: review of mechanical and biological properties J Prosthodont 2006 October 01;15(5):321-328.
- (43) Schnürer SM, Gopp U, Kühn K-, Breusch SJ. Knochenersatzwerkstoffe. Der Orthopäde 2003;32(1):2-10.

- (44) Fairbank JC, Pynsent PB. The Oswestry Disability Index Spine (Phila Pa 1976) 2000 November 15;25(22):2940-53.
- (45) Shen WJ, Liu TJ, Shen YS. Nonoperative treatment versus posterior fixation for thoracolumbar junction burst fractures without neurologic deficit Spine (Phila Pa 1976) 2001 May 01;26(9):1038-1045.
- (46) Reinhold M, Knop C, Beisse R, Audigé L, Kandziora F, Pizanis A, et al. Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Der Unfallchirurg 2009;112(1):33-45.
- (47) Reinhold M, Knop C, Beisse R, Audigé L, Kandziora F, Pizanis A, et al. Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule. Der Unfallchirurg 2009;112(2):149-167.
- (48) Bironneau A, Bouquet C, Leclercq N, Pries P, Gayet LE. Percutaneous internal fixation combined with kyphoplasty for neurologically intact thoracolumbar fractures: A prospective cohort study of 24 patients with one year of follow-up. Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research 2011;97(4):389-395.
- (49) Pelegri C, Benchikh El Fegoun A, Winter M, Brassart N, Bronsard N, Hovorka I, et al. Percutaneous osteosynthesis of lumbar and thoracolumbar spine fractures without neurological deficit: surgical technique and preliminary results Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot 2008 September 01;94(5):456-463.
- (50) Chow GH, Nelson BJ, Gebhard JS, Brugman JL, Brown CW, Donaldson DH. Functional outcome of thoracolumbar burst fractures managed with hyperextension casting or bracing and early mobilization Spine (Phila Pa 1976) 1996 September 15;21(18):2170-2175.
- (51) Mannion AF, Junge A, Fairbank JC, Dvorak J, Grob D. Development of a German version of the Oswestry Disability Index. Part 1: cross-cultural adaptation, reliability, and validity Eur Spine J 2006 January 01;15(1):55-65.

Anhang – Prüfprotokoll

Protokoll-ID: _____
Untersuchungsdatum: ____ / ____ / _____
Untersucher: _____

Patienteninitialen: _____ . _____
Geburtsdatum: ____ / ____ / _____

Frakturtyp: [] A3 [] A4
Frakturlevel: _____
OP-Datum: ____ / ____ / _____

Versorgungsart:

Zement: [] CaPh
Schrauben: [] monoaxial [] polyaxial
Komplikationen: [] keine []

Radiologische Auswertung:

	post- traumatisch	post- operativ	vor Metall- entfernung	6 Monate nach Metallentfernung
Bisegmentaler Kyphosewinkel (°)				
Wirbelkörperhöhenverlust (%)				

Oswestry Disability Index:

Erreichte Punktezahl: _____ von _____
Grad der Behinderung: _____ %

- [] minimale Behinderung (0-20%)
- [] mäßige Behinderung (21-40%)
- [] starke Behinderung (41-60%)
- [] invalidisierend (61-80%)
- [] bettlägerig (81-100%)

Anhang – Fragebogen „Oswestry Disability Index“

Protokoll-ID: _____

1. Schmerzintensität

Ich habe momentan keine Schmerzen	0
Die Schmerzen sind momentan sehr schwach	1
Die Schmerzen sind momentan mäßig	2
Die Schmerzen sind momentan ziemlich stark	3
Die Schmerzen sind momentan sehr stark	4
Die Schmerzen sind momentan so schlimm wie nur vorstellbar	5

2. Körperpflege

Ich kann meine Körperpflege normal durchführen, ohne dass die Schmerzen dadurch stärker werden	0
Ich kann meine Körperpflege normal durchführen, aber es ist schmerzhaft	1
Ich kann meine Körperpflege normal durchführen, aber es ist schmerzhaft	2
Ich kann meine Körperpflege normal durchführen, aber es ist schmerzhaft	3
Ich brauche täglich Hilfe bei den meisten Aspekten der Körperpflege	4
Ich kann mich nicht selbst anziehen, wasche mich mit Mühe und bleibe im Bett	5

3. Heben

Ich kann schwere Gegenstände heben, ohne dass die Schmerzen dadurch stärker werden	0
Ich kann schwere Gegenstände heben, aber die Schmerzen werden dadurch stärker	1
Schmerzen hindern mich daran, schwere Gegenstände vom Boden zu heben, aber es geht, wenn sie geeignet stehen (z.B. auf einem Tisch)	2
Schmerzen hindern mich daran, schwere Gegenstände zu heben, aber ich kann leichte bis mittelschwere Gegenstände heben, wenn sie geeignet stehen	3
Ich kann nur sehr leichte Gegenstände heben	4
Ich kann überhaupt nichts heben oder tragen	5

4. Gehen

Schmerzen hindern mich nicht daran, so weit zu gehen, wie ich möchte	0
Schmerzen hindern mich daran, mehr als 1–2 km zu gehen	1
Schmerzen hindern mich daran, mehr als 0.5 km zu gehen	2
Schmerzen hindern mich daran, mehr als 100 m zu gehen	3
Ich kann nur mit einem Stock oder Krücken gehen	4
Ich bin die meiste Zeit im Bett und muss mich zur Toilette schleppen	5

5. Sitzen

Ich kann auf jedem Stuhl so lange sitzen wie ich möchte	0
Ich kann auf meinem Lieblingsstuhl so lange sitzen wie ich möchte	1
Schmerzen hindern mich daran, länger als 1 Stunde zu sitzen	2
Schmerzen hindern mich daran, länger als eine halbe Stunde zu sitzen	3
Schmerzen hindern mich daran, länger als 10 Minuten zu sitzen	4
Schmerzen hindern mich daran, überhaupt zu sitzen	5

6. Stehen

Ich kann so lange stehen wie ich möchte, ohne dass die Schmerzen dadurch stärker werden	0
Ich kann so lange stehen wie ich möchte, aber die Schmerzen werden dadurch stärker	1
Schmerzen hindern mich daran, länger als 1 Stunde zu stehen	2
Schmerzen hindern mich daran, länger als eine halbe Stunde zu stehen	3
Schmerzen hindern mich daran, länger als 10 Minuten zu stehen	4
Schmerzen hindern mich daran, überhaupt zu stehen	5

7. Schlafen

Mein Schlaf ist nie durch Schmerzen gestört	0
Mein Schlaf ist gelegentlich durch Schmerzen gestört	1
Ich schlafe auf Grund von Schmerzen weniger als 6 Stunden	2
Ich schlafe auf Grund von Schmerzen weniger als 4 Stunden	3
Ich schlafe auf Grund von Schmerzen weniger als 2 Stunden	4
Schmerzen hindern mich daran, überhaupt zu schlafen	5

8. Sexualleben (falls zutreffend)

Mein Sexualleben ist normal, und die Schmerzen werden dadurch nicht stärker	0
Mein Sexualleben ist normal, aber die Schmerzen werden dadurch stärker	1
Mein Sexualleben ist nahezu normal, aber sehr schmerzhaft	2
Mein Sexualleben ist durch Schmerzen stark eingeschränkt	3
Ich habe auf Grund von Schmerzen fast kein Sexualleben	4
Schmerzen verhindern jegliches Sexualleben	5

9. Sozialleben

Mein Sozialleben ist normal, und die Schmerzen werden dadurch nicht stärker	0
Mein Sozialleben ist normal, aber die Schmerzen werden dadurch stärker	1
Schmerzen haben keinen wesentlichen Einfluss auf mein Sozialleben, außer dass sie meine eher aktiven Interessen, z.B. Sport einschränken	2
Schmerzen schränken mein Sozialleben ein, und ich gehe nicht mehr so oft aus	3
Schmerzen schränken mein Sozialleben auf mein Zuhause ein	4
Ich habe auf Grund von Schmerzen kein Sozialleben.	5

10. Reisen

Ich kann überall hinreisen, und die Schmerzen werden dadurch nicht stärker	0
Ich kann überall hinreisen, aber die Schmerzen werden dadurch stärker	1
Trotz starker Schmerzen kann ich länger als 2 Stunden unterwegs sein	2
Ich kann auf Grund von Schmerzen höchstens 1 Stunde unterwegs sein	3
Ich kann auf Grund von Schmerzen nur kurze notwendige Fahrten unter 30 Minuten machen	4
Schmerzen hindern mich daran, Fahrten zu machen, außer zur medizinischen Behandlung	5

(51)