

Aus der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Direktor: Univ. Prof. Dr. med. Joachim Windolf

**Ergebnisse nach minimalinvasiver dorsaler Stabilisierung
thorakaler und lumbaler Wirbelkörperfrakturen mit polyaxialen
Pedikelschrauben**

- Eine klinische Studie -

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Lena Hilß

Düsseldorf 2020

Als Inauguraldissertation gedruckt mit der Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Michael Wild

Zweitgutachter: Prof. Dr. med. Christoph Thomas

Zusammenfassung

Thorakolumbale Frakturen gehen häufig mit einer Instabilität der Wirbelsäule einher und bedürfen aus diesem Grund der operativen Versorgung. Die minimalinvasive dorsale Stabilisierung mit polyaxialen Pedikelschrauben ist dabei ein zuverlässiges Verfahren, welches im Vergleich zum offenen Verfahren mit einem geringeren Blutverlust sowie einem geringeren Gewebetrauma einhergeht und gleichzeitig die frakturierte Wirbelsäule stabilisiert. Jedoch wird den polyaxialen Pedikelschrauben nachgesagt nur ungenügende Repositionsergebnisse zu erreichen, da sie den einwirkenden axialen Kräften nicht ausreichend widerstehen können. Diesbezüglich liegt allerdings keine eindeutige Studienlage vor. Ziel unserer Studie war es das Repositionsergebnis, den Repositionsverlust sowie den subjektiven Behandlungserfolg nach minimalinvasiver dorsaler Stabilisierung thorakaler und lumbaler Wirbelkörperfrakturen mit polyaxialen Pedikelschrauben zu erfassen. Zusätzlich sollte überprüft werden, ob zwischen dem Repositionsergebnis, dem Repositionsverlust und dem subjektiven Behandlungserfolg ein Zusammenhang besteht.

Von 2012 bis 2017 wurden zur Klärung dieser Fragestellung insgesamt 78 Patienten mit einem Altersdurchschnitt von 61 ± 17 Jahren, welche am Klinikum Darmstadt in der Klinik für Orthopädie, Unfall- und Handchirurgie operiert wurden, in unsere Studie eingeschlossen und radiologisch nachuntersucht. Das Ausmaß der kyphotischen Fehlstellung wurde mit Hilfe des Körperwinkels, des monosegmentalen (mGDW) und des bisegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels (bGDW) zu drei verschiedenen Zeitpunkten bestimmt. Der subjektive Behandlungserfolg der Patienten wurde anhand des VAS-Wirbelsäulenscore erfasst.

Unmittelbar nach der dorsalen Stabilisierung konnten wir eine signifikante Reduktion ($p < 0,05$) der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung durch die operative Therapie beobachten (Reduktion des Körperwinkels um $3,2 \pm 4,4^\circ$, Reduktion des mGDW um $3,1 \pm 5,6^\circ$, Reduktion des bGDW um $2,0 \pm 6,3^\circ$). Nach durchschnittlich 8,5 Monaten zeigte sich ein signifikanter ($p < 0,05$) Repositionsverlust von $4,5 \pm 5,8^\circ$ gemessen am Körperwinkel, von $4,7 \pm 6,3^\circ$ gemessen am mGDW und von $3,7 \pm 7,5^\circ$ gemessen am bGDW. Wir konnten keine Korrelation ($p < 0,05$) zwischen den Ergebnissen des VAS-Wirbelsäulenscore und dem Ausmaß des Repositionsergebnisses sowie des sekundären Repositionsverlustes feststellen.

Unsere Studie zeigt, dass sich durch die dorsale minimalinvasive Stabilisierung mit polyaxialen Pedikelschrauben eine signifikante Verbesserung der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung erreichen lässt, welche jedoch nicht über den Nachuntersuchungszeitraum gehalten werden kann. Am Ende des Nachuntersuchungszeitraumes zeigt sich das Ausmaß der kyphotischen Fehlstellung nahezu identisch zum Ausmaß der präoperativen kyphotischen Fehlstellung. Es bleibt fraglich wie sich die frakturbedingte kyphotische Fehlstellung insbesondere im Falle einer konservativen Therapie verhält. Ist bei Typ A-Frakturen (gemäß AO-Klassifikation) der Wirbelsäule ohne spinale Einengung und bei intakter Bandscheibe überhaupt eine Osteosynthese notwendig um den frakturierten Wirbelkörper vor dem Kollabieren zu bewahren? Um diese Frage zu klären bedarf es in Zukunft weiterer Studien.

Abstract

Thoracolumbar fractures are often associated with spinal instability and require surgical treatment in many cases. Minimally invasive posterior stabilization with polyaxial pedicle screws is an established technique to restore the stability of the fractured spine combined with reduced tissue trauma and blood loss compared to open techniques. However, this procedure is suspected to achieve inadequate reduction results because of the polyaxial pedicle screws which are less able to withstand axial forces. But no long-term results can be found in literature to confirm this statement. Objective of our clinical study was to investigate the reduction, the secondary loss of reduction and the subjective outcome after minimally invasive stabilization of thoracic and lumbar fractures with polyaxial pedicle screws. In addition, it should be examined whether there is a correlation between the reduction result, the loss of reduction and the subjective outcome.

From 2012 to 2017 a total of 78 patients with an average age of 61 ± 17 years who underwent surgery at the Klinikum Darmstadt in the Clinic for Orthopaedics, Trauma and Hand Surgery were included and subjected to a radiological follow up examination. The kyphotic deformity was measured by using the body angle, the monosegmental and the bisegmental Cobb angle at three different times. The subjective outcome of the patient was evaluated by the VAS spine score.

Right after the posterior stabilization we measured a significant ($p < 0.05$) reduction of the traumatic kyphotic deformity by surgical therapy (reduction of the body angle $3.2 \pm 4.4^\circ$, reduction of the monosegmental Cobb angle $3.1 \pm 5.6^\circ$, reduction of the bisegmental Cobb angle $2.0 \pm 6.3^\circ$). After an average of 8.5 months a significant ($p < 0.05$) correction loss of $4.5 \pm 5.8^\circ$ measured by the body angle, a correction loss of $4.7 \pm 6.3^\circ$ measured by the monosegmental Cobb angle and a correction loss of $3.7 \pm 7.5^\circ$ measured by the bisegmental Cobb angle was observed. There was no correlation ($p > 0.05$) between the reduction, the loss of reduction and the subjective outcome in the VAS spine score.

Our evaluation shows that the minimally invasive stabilization with polyaxial pedicle screws achieves a satisfactory reduction result of the fracture-induced kyphotic deformity, which couldn't be kept in the follow up period. At the end of the follow up period, the kyphotic deformity of the fractured spinal section is almost identical to the preoperative kyphotic deformity. It remains questionable how the extent of the kyphotic deformity behaves especially in the case of conservatively treated fractures. Does this lead to a collapse of the vertebral body which can be prevented by osteosynthesis especially in type A fractures (according to AO classification) without narrowing the spinal canal or destruction of the intervertebral disc? Further studies are needed to answer this question.

Abkürzungsverzeichnis

°	Grad
%	Prozent
±	Standardabweichung
a.p.	anterior-posterior
Abb.	Abbildung
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
ASIA	American Spine Injury Association
bGDW	bisegmentaler Grund-/Deckplattenwinkel
BWK	Brustwirbelkörper
BWS	Brustwirbelsäule
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
DEGAM	Deutsche Gesellschaft für Allgemeinmedizin und Familienmedizin e.V.
DGOU	Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie e.V.
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V.
et al.	et alii, et aliae, et alia
HWK	Halswirbelkörper
ICD-10-GM	International Classification of Disease 10-German Modification
Lig.	Ligamentum
LWK	Lendenwirbelkörper
LWS	Lendenwirbelsäule
mGDW	monosegmentaler Grund-/Deckplattenwinkel
mm	Millimeter
MRT	Magnetresonanztomographie
n. n. bez.	nicht näher bezeichnet
OP	Operation
PLIF	Posterior Lumbar Interbody Fusion
Proc.	Proccesus
PROM	Patient Reported Outcome Measures
SD	Standardabweichung
TLICS	Thoracolumbar Injury Classification Score
TLIF	Transforaminal Lumbar Interbody Fusion
VAS	Visuelle Analogskala

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VII
1 Einleitung.....	1
1.1 Einführung	1
1.2 Anatomie der Wirbelsäule.....	2
1.3 Wirbelkörperfrakturen	5
1.3.1 Epidemiologie und Ätiologie.....	5
1.3.2 Diagnostik.....	6
1.3.3 Klassifikation.....	8
1.4 Behandlungsziele und Therapie.....	14
1.4.1 Konservative Therapie.....	16
1.4.2 Operative Therapie	16
1.4.2.1 Dorsale Instrumentierung.....	18
1.4.2.2 Ventrale Spondylodese	21
1.4.2.3 Vertebroplastie und Kyphoplastie	22
1.5 Aktuelle Forschungsgrundlage.....	23
1.6 Ziele der Arbeit	25
2 Patienten und Methoden.....	26
2.1 Patientenkollektiv.....	26
2.2 Datenerfassung	27
2.3 Radiologische Untersuchung	28
2.3.1 Körperwinkel.....	28
2.3.2 Monosegmentaler Grund-/Deckplattenwinkel.....	29
2.3.3 Bisegmentaler Grund-/Deckplattenwinkel	30
2.4 Patientenfragebogen	31
2.5 Statistische Auswertung.....	32
3 Ergebnisse.....	34
3.1 Patientenkollektiv.....	34
3.2 Unfallmechanismus und Begleitverletzungen.....	35
3.3 Frakturspezifische Parameter	37
3.3.1 Frakturlokalisierung	37
3.3.2 Frakturklassifikation	37
3.4 Dorsale Instrumentierung.....	39
3.4.1 Komplikationen	40
3.4.2 Entfernung des Osteosynthesematerials	40
3.4.3 Ventrale Spondylodese.....	41

3.5	Repositionsergebnis	42
3.5.1	Präoperative kyphotische Fehlstellung.....	42
3.5.2	Postoperatives Repositionsergebnis.....	45
3.5.3	Repositionsergebnis im Nachuntersuchungszeitraum.....	49
3.6	VAS-Wirbelsäulenscore	52
3.7	VAS-Wirbelsäulenscore und Repositionsergebnis	55
3.8	Zusammenfassung der Ergebnisse	56
4	Diskussion	58
5	Schlussfolgerung	79
6	Literaturverzeichnis.....	81
7	Anhang	88

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Anatomischer Aufbau am Beispiel eines Lendenwirbelkörpers.....	2
Abb. 2:	Ansicht der Wirbelsäule in der Sagittalebene	4
Abb. 3:	Typ A0-Frakturen	9
Abb. 4:	Typ A1-Frakturen	10
Abb. 5:	Typ A2-Frakturen	10
Abb. 6:	Typ A3-Frakturen	11
Abb. 7:	Typ A4-Frakturen	11
Abb. 8:	Typ B1-Frakturen	12
Abb. 9:	Typ B2-Frakturen	12
Abb. 10:	Typ B3-Frakturen	13
Abb. 11:	Typ C-Frakturen	13
Abb. 12:	Lagerung des Patienten im ventralen Durchhang.....	19
Abb. 13:	Schematische Darstellung der Hautinzision	19
Abb. 14:	Einzel Schritte der Operation	20
Abb. 15:	Messung des Körperwinkels.....	29
Abb. 16:	Messung des monosegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels.....	30
Abb. 17:	Messung des bisegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels.....	31
Abb. 18:	Anzahl an Wirbelkörperfrakturen aufgeteilt nach Geschlecht und Altersklassen.....	35
Abb. 19:	Unfallmechanismus aufgeteilt nach Altersklassen	36
Abb. 20:	Darstellung des präoperativen Körperwinkels in Abhängigkeit von der Frakturlokalisation	43
Abb. 21:	Darstellung des präoperativen monosegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels in Abhängigkeit von der Frakturlokalisation	44
Abb. 22:	Darstellung des präoperativen bisegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels in Abhängigkeit von der Frakturlokalisation	45
Abb. 23:	Veränderung des Körperwinkels durch die operative Versorgung in Abhängigkeit von der Frakturlokalisation	46
Abb. 24:	Veränderung des monosegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels durch die operative Versorgung in Abhängigkeit von der Frakturlokalisation.....	47
Abb. 25:	Veränderung des bisegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels durch die operative Versorgung in Abhängigkeit von der Frakturlokalisation.....	48
Abb. 26:	Veränderung des Körperwinkels im zeitlichen Verlauf	49
Abb. 27:	Veränderung des monosegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels im zeitlichen Verlauf	50
Abb. 28:	Veränderung des bisegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels im zeitlichen Verlauf	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Verwendete Diagnosecodes nach ICD-10-GM	26
Tabelle 2:	Aufgetretene Begleitverletzungen und deren Häufigkeiten.....	36
Tabelle 3:	AO-Klassifikation bezogen auf die Frakturlokalisierung.....	38
Tabelle 4:	AO-Klassifikation in Abhängigkeit von der Altersklasse	39
Tabelle 5:	AO-Klassifikation in Abhängigkeit vom Unfallmechanismus.....	39
Tabelle 6:	Postoperative Komplikationen und deren Häufigkeiten	40
Tabelle 7:	Gründe für die Entfernung des Fixateur interne und deren Häufigkeiten.....	41
Tabelle 8:	Übersicht über die durchschnittlich erreichten Punktwerte der einzelnen Fragen im VAS-Wirbelsäulenscore	53
Tabelle 9:	Übersicht über die Ergebnisse des VAS-Wirbelsäulenscores in Abhängigkeit von der Altersklasse	54
Tabelle 10:	Übersicht über die Ergebnisse des VAS-Wirbelsäulenscores in Abhängigkeit von der Frakturschwere	54
Tabelle 11:	Übersicht über die Ergebnisse des VAS-Wirbelsäulenscores in Abhängigkeit von der Frakturlokalisierung.....	55

1 Einleitung

1.1 Einführung

Wirbelkörperfrakturen im Bereich des thorakolumbalen Übergangs und die damit oftmals verbundene Indikation zur operativen Versorgung gehören zu den häufigsten chirurgischen Eingriffen in Deutschland (1). In Bezug auf die Therapie von instabilen Wirbelkörperfrakturen ohne neurologisches Defizit besteht in der aktuellen Literatur Unklarheit über ein eindeutig überlegenes Therapieverfahren zur Wiederherstellung der Stabilität (2–6), welches ebenfalls mit einem dauerhaften Erhalt des Repositionsergebnisses einhergeht (5). Aus diesem Grund ist die operative Behandlung von instabilen Wirbelkörperfrakturen im Bereich des thorakolumbalen Übergangs immer wieder Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher und klinischer Diskussionen (2, 5–9).

Ist die Indikation zur operativen Versorgung einer Wirbelkörperfraktur gestellt, hat sich die minimalinvasive dorsale Stabilisierung mit Pedikelschrauben als zuverlässiges, sicheres und effizientes Verfahren bewährt (6, 7, 10, 11). Die Verwendung von polyaxialen Schraubensystemen gilt dabei aufgrund der freien Beweglichkeit des Schraubenkopfes auf dem Schraubenkörper und der damit verbundenen erleichterten Instrumentierung in vielen Kliniken als Therapiestandard (12). Ebenso konnte in der Vergangenheit gezeigt werden, dass die dorsale minimalinvasive Versorgung thorakolumbalen Wirbelkörperfrakturen mit einem geringeren Gewebetrauma, einem reduzierten Blutverlust sowie weniger Wundheilungsstörungen einhergeht als die offene Instrumentierung (7, 10, 13, 14). Jedoch haftet der minimalinvasiven dorsalen Instrumentierung mit polyaxialen Pedikelschrauben der Makel an, schlechtere Repositionsergebnisse zu erreichen und das erzielte Repositionsergebnis nicht halten zu können (6, 8, 12, 15–17).

Ebenfalls unklar ist, ob möglicherweise ein Zusammenhang zwischen dem erreichten Repositionsergebnis und dem Behandlungsergebnis der Patienten besteht (10, 13, 18).

Im Rahmen dieser Studie wurde auf Basis retrospektiv erhobener Daten untersucht, welches postoperative Repositionsergebnis durch die Verwendung minimalinvasiver polyaxialer Schraubensysteme erreicht wird und ob sich dieses Repositionsergebnis im Nachuntersuchungszeitraum halten lässt. Des Weiteren wurde das subjektive Behandlungsergebnis der Patienten mittels eines patientenzentrierten Fragebogens erfasst und mit dem erzielten Repositionsergebnis verglichen.

1.2 Anatomie der Wirbelsäule

Die Wirbelsäule (Columna vertebralis) bildet die vertikale Achse des menschlichen Skeletts und überträgt dabei das Gewicht des Kopfes, der oberen Extremität und des Rumpfes auf den Beckengürtel und die Beine. Zusammen mit den Bandscheiben, dem Bandapparat und der Rückenmuskulatur gewährleistet die Wirbelsäule Stabilität, Beweglichkeit und dämpft Stöße mit axialer Krafteinwirkung.

Die Wirbelsäule besteht aus insgesamt 24 Wirbelkörpern, welche in drei weitere Abschnitte eingeteilt werden: Die Halswirbelsäule, bestehend aus 7 Halswirbeln (HWK 1 bis HWK 7), die Brustwirbelsäule, bestehend aus 12 Brustwirbeln (BWK 1 bis BWK 12) sowie die Lendenwirbelsäule, bestehend aus 5 Lendenwirbeln (LWK 1 bis LWK 5). Die einzelnen Wirbelkörper sind nach einem ähnlichen Prinzip aufgebaut, unterscheiden sich aber je nach Lokalisation in ihren anatomischen Details (Abb. 1). Sie stehen durch die Zwischenwirbelgelenke, die Wirbelbogengelenke, die Bandscheiben und den Bandapparat in gegenseitigem Kontakt. Einen weiteren Teil der knöchernen Wirbelsäule bilden das Kreuzbein (Os scarum) sowie das Steißbein (Os coccygis).

Jeder Wirbel besteht aus einem Wirbelkörper (Corpus vertebrae), dem Wirbelbogen (Arcus vertebrae), der das Foramen vertebrale umschließt und den verschiedenen Wirbelfortsätzen (Procc. vertebrae). Die Foramina vertebralia aller Wirbelkörper bilden einen Kanal (Canalis vertebralis), welcher das Rückenmark umgibt und schützt. Die einzelnen Spinalnerven verlassen den Wirbelkanal durch die Foramina intervertebralia zwischen den Wirbelkörpern (Abb. 1). (19, 20)

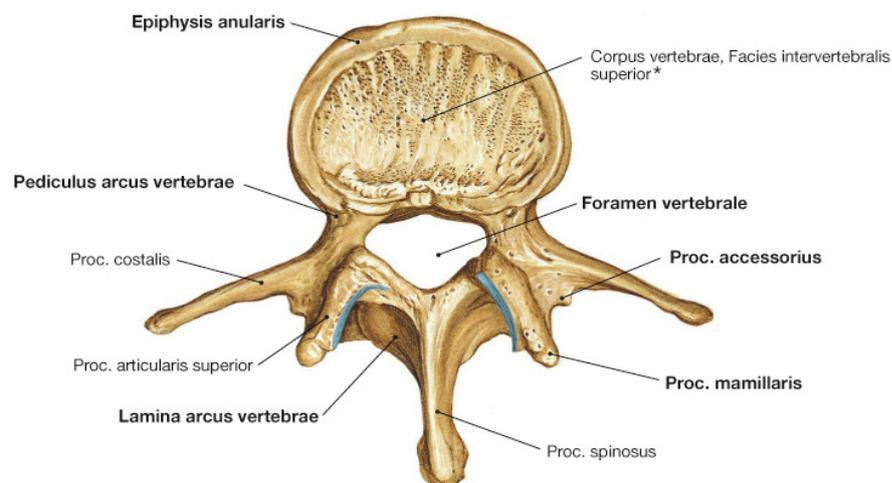


Abb. 1: Anatomischer Aufbau am Beispiel eines Lendenwirbelkörpers (19)

Die kleinste funktionelle Einheit der Wirbelsäule bildet das spinale Bewegungssegment, bestehend aus zwei benachbarten Wirbelkörpern mit ihren Gelenken, den dazwischenliegenden Bandscheiben sowie den dazugehörigen Bändern und Muskeln. Die Lastübertragung erfolgt dabei über den Wirbelkörper sowie die hochelastische Bandscheibe und deren in Abhängigkeit zur Belastung entsprechenden Formveränderung. Dynamisch betrachtet sind innerhalb eines Bewegungssegmentes die Drehbewegung um die Transversalachse (Ventralflexion/Dorsalextension), um die Sagittalachse (Lateralflexion) und um die Longitudinalachse (Rotation) möglich. Der Bewegungsumfang der gesamten Wirbelsäule entsteht durch die Summation der Einzelbewegungen in den jeweiligen Bewegungssegmenten. (21)

Insgesamt nimmt jeder Abschnitt der Wirbelsäule und damit auch jedes Bewegungssegment in unterschiedlichem Ausmaß an der Sicherung der Stabilität und am Bewegungsumfang teil. Die Halswirbelsäule verbindet den Kopf mit dem Rumpf und stellt den beweglichsten Teil der Wirbelsäule dar. In der Halswirbelsäule sind eine isolierte Ventralflexion, eine Dorsalextension, eine Lateralflexion sowie eine Rotation möglich. Die Brustwirbelsäule verfügt aufgrund der Verbindungen mit dem knöchernen Thorax über einen geringeren Bewegungsumfang. Den Hauptbewegungsumfang stellt die Rotation dar. Geringfügig ist auch eine ventrale, dorsale und laterale Flexion möglich. Die Lendenwirbelsäule besitzt den geringsten Bewegungsumfang. Eine geringe ventrale sowie dorsale Flexion sind möglich. In erster Linie verfügt die Lendenwirbelsäule über eine stützende Funktion. (22)

In der Sagittalebene weist die Wirbelsäule vier charakteristische Krümmungen auf, die individuell verschieden stark ausgeprägt sein können. Lordosen stellen dabei eine ventral konvexe Krümmung und Kyphosen eine ventral konkave Krümmung dar. Dabei unterscheidet man physiologischerweise die Halslordose, die Brustkyphose, die Lendenlordose sowie die Sakralkyphose (Abb. 2). Durch die doppelt gekrümmte Form der Wirbelsäule können in Kombination mit den Bandscheiben axiale Stauchungen besser abgefangen werden (20).

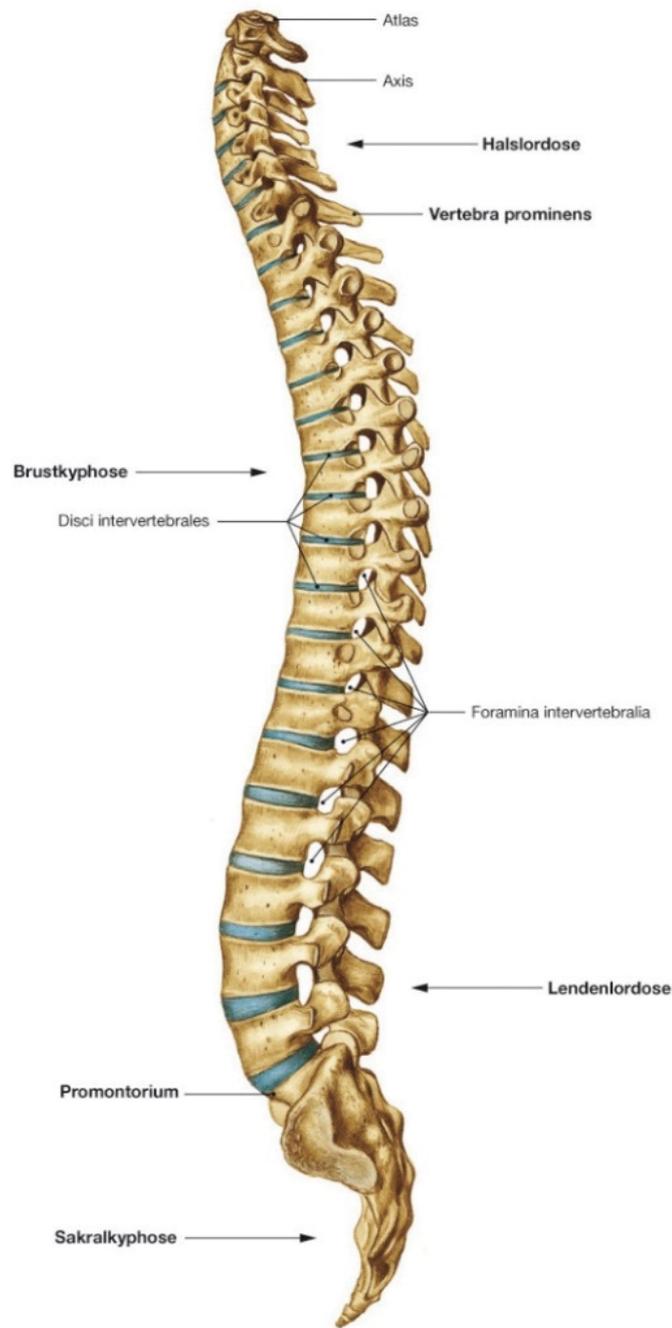


Abb. 2: Ansicht der Wirbelsäule in der Sagittalebene (19)

Außerhalb der knöchernen Strukturen wird die Wirbelsäule durch einen festen Bandapparat stabilisiert. Das vordere Längsband, Lig. longitudinale anterius, erhöht die Festigkeit insbesondere bei Extensionsbewegungen der Wirbelsäule. Das hintere Längsband, Lig. longitudinale posterius, ist mit den Bandscheiben sowie mit den Grund- und Deckplatten der einzelnen Wirbelkörper verbunden. Das hintere Längsband erhöht insbesondere die Festigkeit bei Flexionsbewegungen der Wirbelsäule. Die einzelnen Wirbelbögen werden zusätzlich durch die Lig. flava stabilisiert. Diese begrenzen die Foramina intervertebralia von dorsal und unterstützen die Rückenmuskulatur (19).

Die Rückenmuskulatur trägt nicht nur zur Beweglichkeit der Wirbelsäule bei, sondern ist auch eine der wichtigsten Stabilisatoren der Wirbelsäule. Dabei unterscheidet man die oberflächlichen von den paravertebralen Muskeln. Die oberflächliche Rückenmuskulatur verbindet die Wirbelsäule mit dem Thorax sowie mit dem Schultergürtel. Damit besitzen diese Muskeln nur eine mittelbare Auswirkung auf den Rücken. Die paravertebrale oder auch tiefe Rückenmuskulatur genannt, fasst die eigentlichen ortsständigen Muskeln zusammen und übt eine stabilisierende Funktion auf den Rücken aus (22).

1.3 Wirbelkörperfrakturen

Traumata und Frakturen der Wirbelsäule bilden einen großen Anteil der behandlungswürdigen Erkrankungen in der Orthopädie und Unfallchirurgie (6). Speziell Operationen an der Lendenwirbelsäule sowie allgemeine Operationen der Wirbelsäule gehören zu den häufigsten operativen Eingriffen in Deutschland (1). Insbesondere durch ein zunehmendes Maß an Mobilität und Freizeitaktivitäten bis ins hohe Lebensalter hinein, lässt sich der Anstieg von Verletzungen der Wirbelsäule in den letzten Jahren erklären. Dabei erleiden jüngere Patienten in der Regel schwerwiegende Verletzungen, wohingegen mit steigendem Alter die Verletzungen größtenteils weniger gravierend ausfallen (4, 23).

Frakturen der Wirbelsäule betreffen in den meisten Fällen die Brust- sowie die Lendenwirbelsäule (4, 10, 18). Wiederum 65 bis 70 % dieser Frakturen sind am thorakolumbalen Übergang lokalisiert (4). Die erhöhte Anfälligkeit für Verletzungen in diesem Bereich ist durch den Übergang der durch den Rippenbogen relativ fixierten Brustwirbelsäule zur freistehenden Lendenwirbelsäule bedingt. Aufgrund dessen ist die Wirbelsäule auf der Höhe vom 10. Brustwirbelkörper bis zum 2. Lendenwirbelkörper einem erhöhten biomechanischen Stress ausgesetzt und dadurch besonders frakturgefährdet (10, 18, 23).

1.3.1 Epidemiologie und Ätiologie

Genaue epidemiologische Daten zur Häufigkeit von Wirbelkörperfrakturen in Deutschland sind schwer zu erheben, da diese mit einer sehr inhomogenen Klinik einhergehen und zudem in vielen Fällen ambulant behandelt werden (24). Hochrechnungen ergaben, dass in Deutschland pro Jahr ca. 10.000 Patienten eine schwerwiegende Wirbelsäulenverletzung erleiden, wovon in ca. 8.000 Fällen die Brust- und Lendenwirbelsäule betroffen ist (18, 24).

Die Ursachen für das Auftreten von Verletzungen der Wirbelsäule lassen sich dabei nach Alter und Geschlecht abgrenzen. Während bei Männern zwischen dem 20. und 40. Lebensjahr Hochrasanztraumata den häufigsten Verletzungsgrund darstellen (4), handelt es sich bei geriatrischen Patienten eher um Frauen mit osteoporotischen Spontanfrakturen nach Bagateltraumen (25). Die häufigsten Ursachen sind im Allgemeinen hochenergetische Stürze

aus großer Höhe, Verkehrsunfälle, Sport- und Arbeitsunfälle sowie niedrigenergetische Stürze im häuslichen Umfeld (4, 7, 10, 18, 23, 26). Dabei zeigen sich deutliche Zusammenhänge zwischen dem Unfallmechanismus und der Schwere der zugezogenen Fraktur, sowie zwischen dem Unfallmechanismus und dem Alter der Patienten (4).

1.3.2 Diagnostik

Das Vorgehen bei Verdacht auf eine Wirbelkörperfraktur erfolgt nach einem festen diagnostischen Algorithmus. Dieser umfasst folgende Schritte (18):

- Unfallanamnese
- Körperliche Untersuchung
- Konventionelle radiologische Bildgebung
- Ergänzende radiologische Untersuchung mittels Computertomographie (CT) und/oder Magnetresonanztomographie (MRT)

Zu Beginn einer jeden Diagnostik steht die Anamnese. Diese sollte wenn möglich bereits am Unfallort erhoben werden und liefert wichtige Informationen über den Unfallhergang sowie über Stärke und Richtung der einwirkenden Kräfte auf die Wirbelsäule (18). Dadurch lassen sich bereits Rückschlüsse auf das Vorliegen eines Stauchungs-, Flexions-, Hyperextensions- oder eines kombinierten Traumas ziehen. Nach Möglichkeit sollte am Unfallort ebenfalls der neurologische Status des Patienten eingeschätzt und dokumentiert werden (26). Dabei werden die periphere Sensibilität und Motorik im Seitenvergleich sowie auf Höhe der Läsion überprüft. Die Dokumentation des neurologischen Status sollte zur besseren Vergleichbarkeit und zur Verlaufskontrolle der erhobenen Befunde anhand der modifizierten Standardklassifikation für Querschnittslähmungen nach Frankel-/ASIA (American Spine Injury Association) (27, 28) erfolgen (7, 10). Nach dieser Klassifikation können fünf neurologische Befundkonstellationen beschrieben werden (28):

- A = Kompletter Querschnitt. Keine Sensorik oder Motorik bis in die Sakralsegmente S4–5.
- B = Inkompletter Querschnitt. Die Sensorik unterhalb der neurologischen Läsion sowie in den Sakralsegmenten S4–5 ist erhalten, während die Motorik erloschen ist.
- C = Motorisch inkompletter Querschnitt. Die Motorik unterhalb der neurologischen Läsion sowie die Mehrzahl der Kennmuskeln ist mit einem Kraftgrad < 3 erhalten.
- D = Motorisch inkompletter Querschnitt. Die Motorik unterhalb der neurologischen Läsion sowie die Mehrzahl der Kennmuskeln ist mit einem Kraftgrad ≥ 3 erhalten.
- E = Keine neurologische Einschränkung.

Bei Hinweisen auf das Vorliegen einer Rückenmarksverletzung sollte präoperativ eine fachneurologische Sekundärbeurteilung eingeholt werden (18).

Zur Vervollständigung der körperlichen Untersuchung wird die Wirbelsäule des Patienten inspiziert, palpiert und perkutiert. Der ausführlichen körperlichen Untersuchung kommt insbesondere deshalb eine große Bedeutung zu, da nicht alle Wirbelkörperfrakturen mit Schmerzen oder einer sonstigen klinischen Symptomatik einhergehen. Somit können Achsabweichungen, Deformitäten der Wirbelsäule sowie lokaler Druck- oder Klopfschmerz wichtige Hinweise auf das Vorliegen einer Wirbelsäulenverletzung liefern.

Nach der klinischen Beurteilung des Patienten erfolgt die konventionelle radiologische Bildgebung. Jede frische Verletzung der Wirbelsäule erfordert eine Röntgendiagnostik des betroffenen Wirbelsäulenabschnitts in zwei Ebenen zum Ausschluss knöcherner und diskoligamentärer Verletzungen. Wird im Rahmen dieser radiologischen Untersuchung eine Verletzung der Wirbelsäule diagnostiziert, ist die Durchführung einer Computertomographie (CT) zur weiteren Beurteilung der Stabilität und ggf. zur Operationsplanung indiziert. Bei Hinweisen auf das Vorliegen einer instabilen Fraktur oder Einengung des Spinalkanals mit neurologischen Defiziten ist die computertomographische Diagnostik unerlässlich. In diesem Fall kann die konventionelle Röntgendiagnostik durch eine CT Untersuchung als primäre radiologische Bildgebung ersetzt werden. Dieses Vorgehen hat insbesondere Gültigkeit bei bewusstlosen, nicht adäquat antwortenden sowie polytraumatisierten Patienten. (18, 23, 29)

Eine medizinisch besonders anspruchsvolle Gruppe in der Diagnostik von Wirbelkörperfrakturen stellen Patienten mit einer Spondylitis ankylosans (Morbus Bechterew) dar. Aufgrund der erschwerten Beurteilbarkeit der Wirbelsäule in der konventionellen Röntgenbildgebung durch die Grunderkrankung an sich und wegen des erhöhten Risikos bereits durch ein niedrigerenergetisches Trauma eine Wirbelkörperfraktur zu erleiden wird bei dieser Patientengruppe eine primär radiologische Diagnostik der gesamten Wirbelsäule mittels CT Untersuchung empfohlen (30).

Die Indikation zur Durchführung einer Magnetresonanztomographie (MRT) als ergänzendes Schnittbildverfahren bei einer frischen, traumatischen Verletzung ist individuell zu stellen. Diese Untersuchung kann weitere Aufschlüsse über das Vorliegen einer neurologischen Mitbeteiligung, einer begleitenden ligamentären Instabilität sowie über eine Schädigung der Bandscheibe liefern (10, 23, 29).

Hinsichtlich des weiteren Vorgehens muss nicht nur das Maß der Wirbelsäuleninstabilität, sondern auch das Patientenalter, die Knochenqualität sowie der individuelle Anspruch des Patienten in die Entscheidung über die Therapie mit einfließen (29).

1.3.3 Klassifikation

Um eine Verletzung der Wirbelsäule angemessen therapieren zu können, ist die Beurteilung der Stabilität der Wirbelsäule von enormer Wichtigkeit. Definitionsgemäß besteht eine Instabilität, wenn der Wirbelsäulenabschnitt, welcher von der Verletzung betroffen ist, durch jede mögliche, auf diesen Bereich einwirkende Kraft deformiert werden kann. Dabei können axiale Kräfte, Flexionskräfte, Rotationskräfte sowie Extensionskräfte auf die Wirbelsäule wirken. (31)

Um eine Fraktur hinsichtlich ihrer Stabilität beurteilen zu können, wurden im Laufe der Zeit verschiedene Klassifikationsmodelle etabliert. Holdsworth (32) teilte 1970 die Wirbelsäulenfrakturen zunächst nach dem Mechanismus der Verletzung ein. Anhand dieses Verletzungsmechanismus erfolgte die weitere Einteilung in verschiedene Frakturmorphologien, sowie eine Einteilung in stabile und instabile Frakturen. Whitesides (33) stellte einige Zeit später eine Erweiterung der Klassifikation von Holdsworth vor. Sein 2-Säulen-Modell teilt die Wirbelsäule in eine ventrale Säule, bestehend aus Wirbelkörper und Bandscheiben, sowie in eine dorsale Säule, bestehend aus Wirbelbögen, Wirbelfortsätzen mit den Zwischenwirbelgelenken und Ligamenten ein. Nach den Vorstellungen von Whitesides wird die ventrale Säule primär auf Druck belastet und die dorsale Säule primär auf Zug (33).

Denis (34) wiederum definierte 1983 das 3-Säulen-Modell der Wirbelsäule. Er beschrieb in Erweiterung zum bislang bekannten 2-Säulen-Modell eine ventrale, eine mittlere und eine dorsale Säule. Die ventrale Säule besteht dabei aus dem vorderen Längsband (Lig. longitudinale anterius) sowie der Wirbelkörpervorderkante mit dem größten Teil des Wirbelkörpers und der dazugehörigen Bandscheibe. Die mittlere Säule wird vom hinteren Längsband (Lig. longitudinale posterius) und der Wirbelkörperhinterkante mit dazugehöriger Bandscheibe gebildet. Die dorsale Säule besteht aus den Wirbelbögen und -fortsätzen, den Facettengelenken sowie den posterioren Bändern (Lig. supraspinale, Lig. interspinale und Lig. flavum). Laut Denis liegt dann eine instabile Verletzung vor, wenn mindestens zwei der drei Säulen verletzt sind (34).

Heutzutage werden im klinischen Alltag Frakturen der thorakalen und lumbalen Wirbelsäule nach der AO-Wirbelsäulen-Klassifikation eingeteilt (35). Diese Einteilung basiert auf der Wirbelsäulenklassifikation von Magerl et al. (36) aus dem Jahr 1994 sowie auf dem „Thoracolumbar Injury Classification Score (TLICS)“ (37) und wurde im Jahr 2013 modifiziert.

Nach der neuen AO-Klassifikation werden drei Frakturtypen unterschieden (35):

- Typ A-Frakturen: Kompressionsfrakturen
- Typ B-Frakturen: Distraktionsverletzungen mit Zerreißung der ossären und/oder ligamentären Wirbelkörperstrukturen
- Typ C-Frakturen: Translationsverletzungen mit Beteiligung aller drei Säulen

Die einzelnen Frakturen können anhand ihrer Morphologie noch in weitere Subgruppen unterteilt werden.

Typ A-Frakturen betreffen alle Anteile der vorderen Säule (Wirbelkörper und/oder Bandscheibe) sowie die klinisch weniger bedeutsamen Verletzungen der Quer- und/oder Dornfortsätze. Dieser Frakturtyp weist einen intakten Bandapparat auf und ist weder translatiert noch disloziert. Typ A-Frakturen werden weiter unterschieden in:

Typ A0-Frakturen (Abb. 3): Quer- und Dornfortsatzfrakturen ohne mechanische Instabilität der Wirbelsäule oder neurologisches Defizit. Der Wirbelkörper an sich bleibt unverletzt.

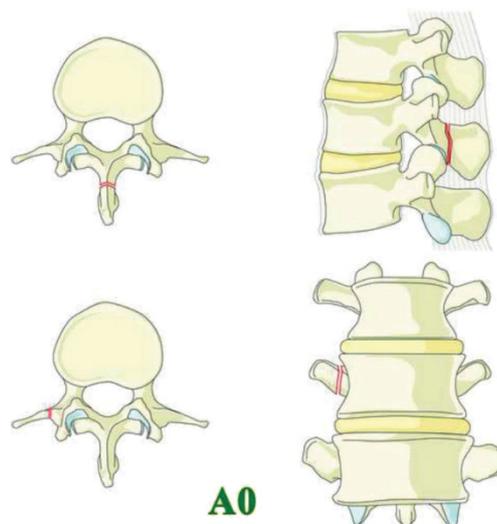


Abb. 3: Typ A0-Frakturen. Kleinere Verletzungen wie Frakturen der Quer- und/oder Dornfortsätze. Keine Beeinflussung der mechanischen Stabilität (35)

Typ A1-Frakturen (Abb. 4): Keil- oder Kompressionsfrakturen der Wirbelkörpergrund- oder Deckplatte ohne Beteiligung der Hinterkante.

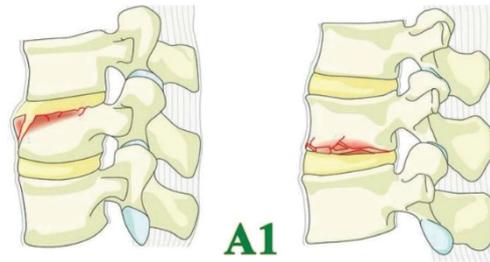


Abb. 4: Typ A1-Frakturen. Kompressionsfrakturen. Mitbeteiligung der Wirbelkörpergrund- oder Deckplatte. Keine Einengung des Spinalkanals (35)

Typ A2-Frakturen (Abb. 5): Spalt- oder Kneifzangenfraktur mit Beteiligung der Wirbelkörpergrund- und Deckplatte ohne Beteiligung der Hinterkante.

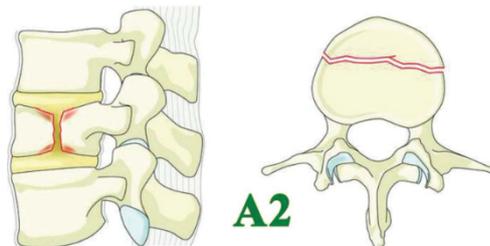


Abb. 5: Typ A2-Frakturen. Spalt- oder Kneifzangenfrakturen. Mitbeteiligung der Grund- und Deckplatte. Keine Beteiligung der Hinterkante (35)

Typ A3-Frakturen (Abb. 6): Inkomplette Berstungsfraktur der Wirbelkörpergrund- oder Deckplatte mit jeglicher Art von Beteiligung der Hinterkante oder Einengung des Spinalkanals. Die bei diesem Verletzungsmechanismus auf die Wirbelsäule wirkenden Kompressionskräfte können eine Vergrößerung des interpedikulären Abstandes bewirken und eine vertikale Fraktur der Lamina arcus vertebrae nach sich ziehen. Das hintere Längsband bleibt unverletzt. Bei Beteiligung des hinteren Längsbandes ist die Fraktur als Typ B2-Fraktur einzustufen. Frakturen des Wirbelkörpers mit Beteiligung der Hinterkante, die eine horizontale Frakturlinie in axialer Ebene aufweisen, gefährden die Stabilität der Wirbelsäule und sind ebenfalls als Typ B-Fraktur einzustufen.

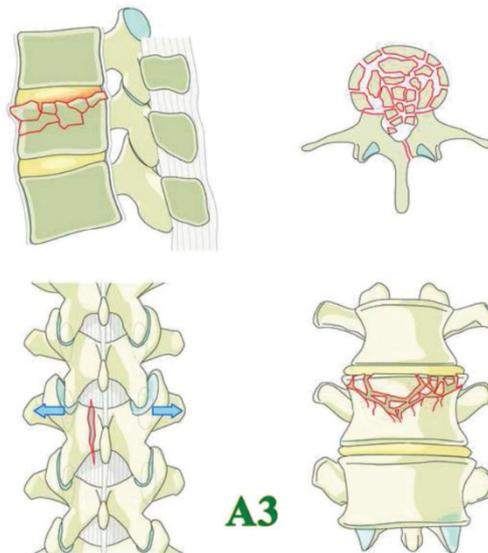


Abb. 6: Typ A3-Frakturen. Inkompletter Berstungsbruch mit Beteiligung der Hinterkante. Fraktur der Grund- oder Deckplatte. Hinteres Längsband intakt (35)

Typ A4-Frakturen (Abb. 7): Komplette Berstungsfraktur der Grund- und Deckplatte mit jeglicher Art von Beteiligung der Hinterkante bzw. Einengung des Spinalkanals. Entsprechend den Typ A3-Frakturen ist bei den Typ A4-Frakturen die Lamina arcus vertebrae bei intaktem hinteren Längsband vertikal frakturiert. Spaltfrakturen mit Beteiligung der hinteren Säule werden ebenfalls dieser Frakturklasse zugeordnet. Verletzungen mit Beteiligung des hinteren Längsbandes müssen als Typ B2-Frakturen klassifiziert werden. Frakturen des Wirbelkörpers mit Beteiligung der Hinterkante, die eine horizontale Frakturlinie in axialer Ebene aufweisen gefährden die Stabilität der Wirbelsäule und sind ebenso als Typ B-Fraktur einzustufen.

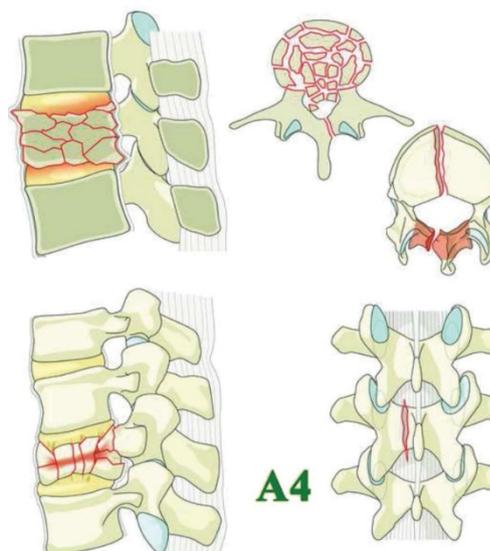


Abb. 7: Typ A4-Frakturen. Kompletter Berstungsbruch mit Beteiligung der Hinterkante. Fraktur der Grund- und Deckplatte. Hinteres Längsband intakt (35)

Frakturen der B-Gruppe weisen zusätzlich zu den Frakturen der A-Gruppe eine Beteiligung des vorderen oder hinteren Längsbandes auf und können in folgende drei Subgruppen unterteilt werden:

Typ B1-Frakturen (Abb. 8): Monosegmentale Zerreißung des hinteren Längsbandes mit ossärer Beteiligung („Chance Fraktur“). Im Gegensatz zu den anderen Frakturtypen der B-Gruppe begrenzt sich die Typ B1-Fraktur auf einen Wirbelkörper ohne Beteiligung der angrenzenden Bandscheiben. Eine Fakturierung der Pedikel sowie des Dornfortsatzes ist möglich.

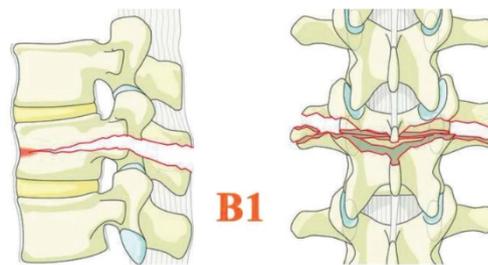


Abb. 8: Typ B1-Frakturen. Monosegmentale transossäre Zerreißung des hinteren Längsbandes (35)

Typ B2-Frakturen (Abb. 9): Fraktur und Ruptur des hinteren Längsbandes mit oder ohne ossärer Beteiligung. Jede mit diesem Frakturtyp kombiniert einhergehende Kompressionsfraktur des Wirbelkörpers sollte separat als Typ A-Fraktur klassifiziert werden.

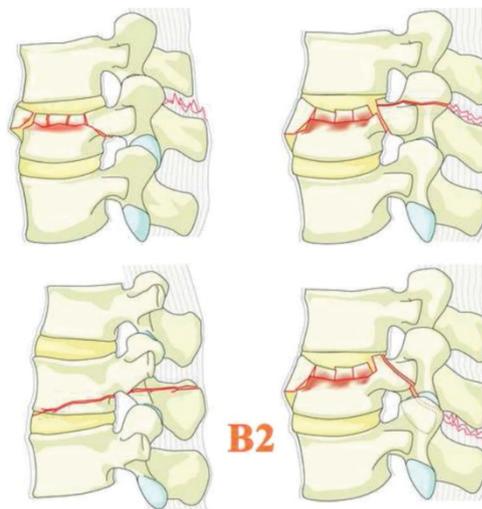


Abb. 9: Typ B2-Frakturen. Ruptur des hinteren Längsbandes mit oder ohne ossärer Beteiligung. Jede zusätzliche Typ A-Fraktur wird separat kodiert (35)

Typ B3-Frakturen (Abb. 10): Transligamentäre oder transossäre Hyperextensionsfraktur mit vorderer Längsbandruptur. Bei dieser Fraktur kann die Frakturlinie sowohl durch den

Wirbelkörper als auch durch die Bandscheibe ziehen. Die intakte Gelenkverbindung der hinteren Säule verhindert bei dieser Verletzung die komplette Dislokation der frakturierten Wirbelsäule. Jede undislozierte Fraktur bei der eine Beteiligung der hinteren Säule nicht ausgeschlossen werden kann, sollte bis zum Beweis des Gegenteils als Typ C-Fraktur klassifiziert werden.

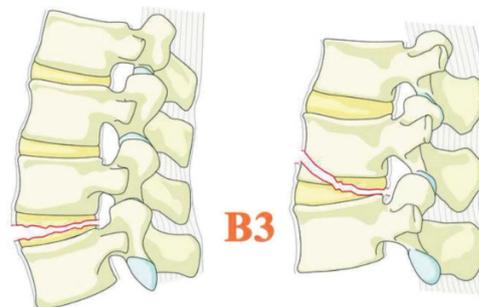


Abb. 10: **Typ B3-Frakturen.** Hyperextensionsfraktur. Fraktur durch die Bandscheibe oder den Wirbelkörper. Ruptur des vorderen Längsbandes. Durch die intakte Gelenkverbindung der hinteren Säule wird eine komplette Dislokation verhindert (35)

Bei Typ C-Frakturen (Abb. 11) handelt es sich um komplett dislozierte Wirbelsäulenverletzungen. Aus der kombinierten Verletzung von vorderer und hinterer Säule resultiert eine unphysiologische Dislokation in Bezug auf den kranial oder kaudal der Fraktur gelegenen Wirbelsäulenabschnitt. Jede zusätzlich vorhandene Fraktur des Wirbelkörpers sollte separat als Typ A-Fraktur und jede zusätzlich vorhandene Beteiligung der Längsbänder als Typ B-Fraktur klassifiziert werden. Typ C-Frakturen werden nicht weiter in Subklassen eingeteilt. (35)

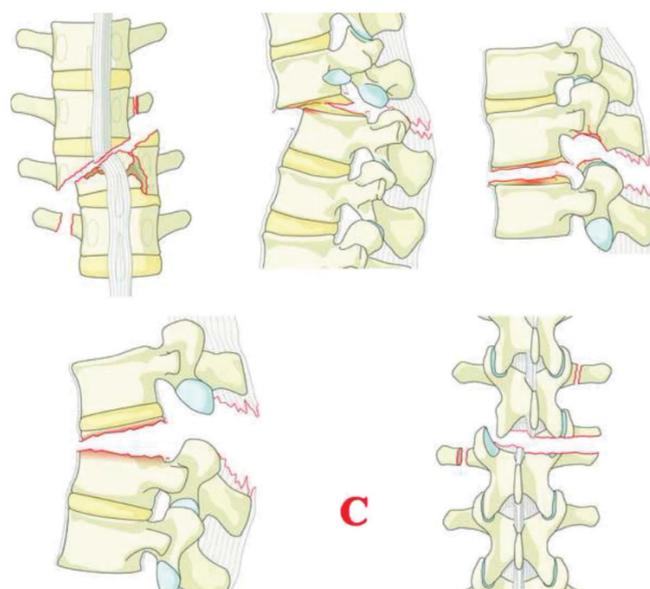


Abb. 11: **Typ C-Frakturen.** Komplett Dislokation der Wirbelsäule. Jede zusätzlich vorhandene Typ A-Fraktur und jede zusätzlich vorhandene Typ B-Fraktur wird separat kodiert (35)

1.4 Behandlungsziele und Therapie

Nach abgeschlossener Diagnostik sowie Klassifikation der Wirbelkörperfraktur erfolgt die Auswahl des geeigneten Therapieverfahrens. In den letzten Jahren haben sich die Behandlungsoptionen für die Verletzungen von Brust- und Lendenwirbelsäule stetig weiterentwickelt und verbessert, sodass eine Vielzahl an therapeutischen Optionen zur Verfügung stehen (4).

Im Allgemeinen lassen sich die Behebung neurologischer Ausfälle, die Wiederherstellung der Stabilität sowie die dauerhafte Rekonstruktion der anatomischen Stellung als wichtigste Behandlungsziele definieren (10, 18).

Die Behandlung der Fraktur richtet sich zum einen nach der Klinik des Patienten sowie nach seinem individuellen Risikoprofil und zum anderen nach Frakturmorphologie und -klassifikation. In Bezug auf die Frakturmorphologie müssen folgende Kriterien berücksichtigt werden (8, 26, 29):

1. Ausmaß der kyphotischen Fehlstellung der Wirbelsäule. Die Ausprägung dieser Fehlstellung kann mit Hilfe des monosegmentalen und des bisegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels bestimmt werden (38).
2. Ausmaß der Zerstörung des Wirbelkörpers. Dabei wird das Ausmaß der Zerstörung sowie die Dislokation der einzelnen Fragmente berücksichtigt. Zur Beurteilung der Zerstörung des Wirbelkörpers wird dieser horizontal gedrittelt. Je nachdem wie groß das betroffene Volumen ist, kann das Ausmaß der Zerstörung abgeschätzt werden. Zur Beurteilung der Dislokation wird zwischen nicht dislozierten und weniger bzw. mehr als 2 mm dislozierten Fragmenten unterschieden.
3. Einengung des Spinalkanals. Die im axialen Schnitt des Spinalkanals am meisten eingengte Fläche wird gemessen und prozentuell im Verhältnis zum Gesamtdurchmesser des Spinalkanals als Grad der Einengung angegeben.
4. Läsionen der Bandscheiben. Bei unklarer Beteiligung der Bandscheibe ist die Ergänzung der Diagnostik um eine MRT Untersuchung indiziert. (8, 26, 29)

Anhand der Kombination der oben genannten morphologischen Kriterien und unter Berücksichtigung der aktuellen AO-Klassifikation spricht die Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie (DGOU) folgende Therapievorschläge aus: (8, 26, 29)

Typ A0-Frakturen: Das bevorzugte Verfahren ist die konservative Therapie mit schmerzadaptierter Mobilisation des Patienten unter physiotherapeutischer Aufsicht.

Typ A1-Frakturen: Je nach Ausmaß der kyphotischen Fehlstellung unterscheidet sich das Therapieverfahren. Bei gering ausgeprägter kyphotischer Fehlstellung (< 15 bis 20°) erfolgt eine konservative Therapie. Bei höhergradiger und ausgeprägter kyphotischer Fehlstellung (> 15 bis 20°) der Wirbelsäule sollte eine dorsale monosegmentale Versorgung der Fraktur angestrebt werden.

Typ A2-Frakturen: Therapie der Wahl ist, analog zu den A0-Frakturen, die konservative Therapie. Ein hoher Dislokationsgrad der Frakturfragmente sowie relevante Läsionen der Bandscheibe können jedoch eine ventrale bisegmentale Versorgung mit oder ohne dorsale Stabilisierung notwendig werden lassen.

Typ A3-Frakturen: Bei geringer kyphotischer (< 15 bis 20°) bzw. skoliotischer ($< 10^\circ$) Fehlstellung der Wirbelsäule ist eine konservative Therapie möglich. Bei einer ausgeprägten kyphotischen (> 15 bis 20°) bzw. skoliotischen ($> 10^\circ$) Fehlstellung und in Abhängigkeit von der Frakturmorphologie ist die dorsale monosegmentale Versorgung indiziert. Diese kann je nach Frakturmorphologie durch eine ventrale Stabilisierung ergänzt werden.

Typ A4-Frakturen: Die Entscheidung über eine konservative oder operative Therapie erfolgt analog zu den A3-Frakturen. Ein entscheidender Unterschied bei diesem Frakturtyp ist, dass es auch bei gering ausgeprägter kyphotischer oder skoliotischer Fehlstellung zu relevanten Einengungen des Spinalkanals kommen kann. Bei einer Kompression des Rückenmarkes ist eine operative Therapie unabhängig vom Ausmaß der Fehlstellung indiziert. Bei einer operativen Therapie sollte mindestens eine bisegmentale Stabilisierung durchgeführt werden.

Typ B1-Frakturen: Es besteht die Indikation zur dorsalen bisegmentalen Stabilisierung der Fraktur.

Typ B2-Frakturen: Zusätzlich zur dorsalen Stabilisierung ist bei Mitbeteiligung der ventralen Säule eine Rekonstruktion der vorderen Säule indiziert.

Typ B3-Frakturen: Die Therapieentscheidung erfolgt analog zur Versorgung der B2-Frakturen. Die dorsale Stabilisierung kann dabei in den meisten Fällen monosegmental erfolgen.

Typ C-Frakturen: Eine operative Stabilisierung von dorsal und ventral ist je nach Ausmaß der Verletzung sowie den beteiligten Strukturen indiziert.

Unabhängig davon, ob ein konservatives oder operatives Verfahren zur Stabilisierung der verletzten Wirbelsäule gewählt wird, stellt eine konsequente physiotherapeutische Behandlung sowie eine adäquate Schmerztherapie einen wesentlichen Faktor für den Erfolg der Therapie dar (29).

1.4.1 Konservative Therapie

Verletzungen der Wirbelsäule, welche ohne anatomische Fehlstellung, Instabilität oder eine neurologische Begleitkomponente einhergehen, bedürfen keiner operativen Therapie und können konservativ behandelt werden (7, 10, 18, 26).

Besteht nach ausführlicher Diagnostik die Indikation zur konservativen funktionellen Therapie sollte diese nach einer kurzen Ruhephase möglichst rasch begonnen werden (10, 29). Grundlage der Therapie bildet dabei die frühfunktionelle Behandlung unter adäquater Schmerztherapie (23, 39). Unter physiotherapeutischer Anleitung erfolgt die Stabilisierung der Rückenmuskulatur mit der Vermeidung von Bewegungen, welche sich schädlich auf die Stabilität der Wirbelsäule auswirken können (6).

Als historisch gilt die Ansicht, dass das Tragen eines stützenden Korsetts die Heilung der Fraktur unterstützen kann und mit einer Schmerzreduktion einhergeht. Vor allem Patienten mit einer reduzierten Knochendichte sollten dabei von der muskelstimulierenden Wirkung der Korsettbehandlung profitieren. Eine Verbesserung der radiologischen Frakturparameter wurde jedoch nicht beobachtet. So findet die Korsettbehandlung im medizinischen Alltag nur noch selten Anwendung und wird heutzutage größtenteils abgelehnt (8, 9, 23, 29, 39).

Bis zur Ausheilung der Fraktur ist die konservative Therapie durch regelmäßige radiologische Kontrollen und eine Dokumentation des Therapieerfolges zu ergänzen (23, 25). Sollte bei einem Monotrauma der Wirbelsäule die Mobilisierung binnen einer Woche nach Trauma nicht möglich sein oder zwischenzeitlich eine Fehlstellung der Wirbelsäule auftreten, ist die erneute Überprüfung der Operationsindikation notwendig (8, 23, 29).

Um einen adäquaten Therapieerfolg gewährleisten zu können, ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Ärzten, Pflegepersonal und Physiotherapeuten nötig (8).

1.4.2 Operative Therapie

Instabile Verletzungen der Wirbelsäule gehen mit der Gefahr sekundärer neurologischer Komplikationen einher und bedürfen daher einer operativen Stabilisierung (8, 25, 26). Eine frühzeitige operative Versorgung resultiert außerdem in einer beschleunigten Mobilisation sowie Rehabilitation der Patienten (2, 10). Das Ziel einer jeden operativen Versorgung ist die belastungsstabile sowie anatomische Rekonstruktion der Wirbelsäule (8, 18, 23).

Instabilitätskriterien die eine operative Versorgung der Wirbelsäule notwendig werden lassen sind zum einen das Vorliegen einer axialen Dissoziation, Translation oder Rotation und zum anderen wenn durch die Mobilisation neurologische Komplikationen drohen (26, 29).

Die operative Therapie instabiler Wirbelkörperfrakturen erfolgt üblicherweise nach einem Stufenschema. Zu Beginn einer jeden operativen Therapie steht die Reposition der Fehlstellung, gefolgt von der Dekompression des Spinalkanals. Häufig kann die Dekompression des Spinalkanals bereits durch die Reposition erreicht werden. Anschließend erfolgt die Retention der reponierten Stellung mit anschließender Rekonstruktion der ventralen Säule. Die Rekonstruktion der ventralen Säule richtet sich nach der vorliegenden Destruktion des Wirbelkörpers und wird variabel gehandhabt (5, 7, 18, 25).

Um die verschiedenen Methoden der operativen Frakturversorgung genauer beschreiben zu können müssen zunächst folgende Begriffe definiert werden:

Instrumentierung: Bei der Instrumentierung handelt es sich um das Einbringen von Implantaten zur Stabilisierung der Fraktur. Die Instrumentierung kann sowohl von dorsal als auch von ventral erfolgen. (29)

Spondylodese: Unter einer Spondylodese versteht man die definitive Fusion eines Bewegungssegmentes. Dabei hängt der Bewegungsverlust von der Anzahl der versteiften Segmente ab. Die Spondylodese kann sowohl von ventral als auch von dorsal erfolgen oder kombiniert (sogenannte 360° Fusion) durchgeführt werden. (29, 40)

- Bei der dorsalen Spondylodese wird die Fusion der Bewegungssegmente durch Entknorpelung der Wirbelgelenke, Anlagerung von autologem Knochenmaterial und/oder durch die Verwendung von Knochenersatzstoffen erreicht. (8, 29, 41)
- Unter dem Begriff der ventralen Spondylodese versteht man die Wiederherstellung der ventralen Säule mit Fusion der angrenzenden Bewegungssegmente. Hierfür können Implantate wie Cages oder Wirbelkörperersatzimplantate, autologe Knochentransplantate oder andere Materialien verwendet werden. Bei der ventralen Spondylodese erfolgt die Ausräumung des Bandscheibenfaches, sowie die direkte Dekompression des Spinalkanals. Eine ventrale Spondylodese kann bei bestimmten Frakturtypen auch über einen rein dorsalen Zugangsweg durchgeführt werden. (8, 42)

Grundsätzlich stehen verschiedene operative Verfahren zur Verfügung, welche jeweils offen chirurgisch oder minimalinvasiv durchgeführt werden können. Voraussetzung für jede Art von operativem Eingriff ist ein erfahrenes Team von Wirbelsäulenchirurgen (8).

1.4.2.1 Dorsale Instrumentierung

Die Standardmethode zur Stabilisierung thorakolumbalen Wirbelkörperfrakturen ist die dorsale Instrumentierung (6, 11, 23). Der winkelstabile dorsale Fixateur interne stellt dabei das Versorgungsinstrument der Wahl zur Beseitigung relevanter Fehlstellungen sowie hochgradiger Instabilitäten dar (10, 12, 23, 41). Magerl beschrieb 1984 erstmals die perkutane Technik der dorsalen Instrumentierung mittels Pedikelschrauben und externer Fixierung als Fixateur externe (43). Diese Methode wurde nur wenige Zeit später durch eine Verlagerung des Implantates unter das Hautniveau zu dem noch heute bekannten Fixateur interne weiterentwickelt. Dieser dient der Stabilisierung der frakturierten Wirbelsäule. Hierbei werden die an den frakturierten Wirbelkörper nach kranial und kaudal anschließenden Wirbelkörper durch ein System aus Schrauben und Längsträgern miteinander verbunden. Somit wird der frakturierte Abschnitt überbrückt und die Wirbelsäule stabilisiert. (5, 44, 45)

Die Schrauben werden durch den Pedikel, das Segment zwischen Querfortsatz und Wirbelkörper, in den Wirbelkörper eingebracht ohne dabei die Pedikelwand zu verletzen. Anschließend werden die Schraubenköpfe mit zwei Längsträgern verbunden und der entsprechende Wirbelsäulenabschnitt fixiert bzw. der frakturierte Wirbelsäulenabschnitt überbrückt (45). Die Implantation von sogenannten Indexschrauben in den frakturierten Wirbelkörper selbst, sowie eine Verbindung der Schrauben über einen Querträger kann die Stabilität der Osteosynthese und somit auch der Wirbelsäule zusätzlich erhöhen (6, 8). Bei der Implantation einer Indexschraube werden, zusätzlich zu den Schrauben in den kranial und kaudal der Fraktur liegenden Wirbelkörper, Schrauben in den frakturierten Wirbel selbst eingebracht. Dieses Vorgehen geht besonders bei kurzstreckigen dorsalen Instrumentierungen mit einer erhöhten Stabilität der Wirbelsäule einher. Durch die zusätzlich implantierten Indexschrauben wird die axiale, die sagittale und die Rotationssteifigkeit des Konstruktes erhöht und der frakturierte Wirbelkörper bei Flexions- und Extensionsbewegungen zusätzlich stabilisiert. Somit kann eine langstreckige Instrumentierung umgangen werden (7, 46–48).

Die alleinige dorsale Instrumentierung ist dann indiziert, wenn keine oder nur eine geringgradige Verletzung der Bandscheibe vorliegt, sowie bei Typ-B Verletzungen mit rein ossärer Komponente. Das Vorgehen von dorsal ist grundsätzlich in offener oder minimalinvasiver Technik möglich (8, 11). Die Operation erfolgt bei der minimalinvasiven Technik genauso wie bei der offenen Technik in Intubationsnarkose und Bauchlage im ventralen Durchhang, um bereits durch die Lagerung eine grobe Reposition der Verletzung zu erreichen (Abb. 12) (41).

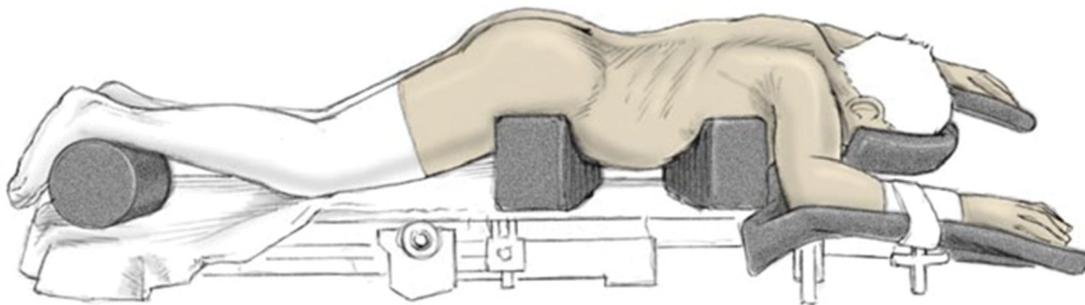


Abb. 12: Lagerung des Patienten im ventralen Durchhang. Die Lagerung des Patienten erfolgt in Bauchlage mit entsprechender Polsterung des Beckens sowie des Thorax. Damit ist ein Durchhang des Bauches nach ventral möglich, wodurch es zu einer Lordosierung der Wirbelsäule und damit häufig schon zu einer Reposition der Fraktur kommt (49)

Nach Desinfektion der Haut erfolgt das sterile Abdecken. Beim minimalinvasiven Verfahren werden die Pedikel der Wirbelkörper, in welche die Pedikelschrauben eingebracht werden sollen, unter Bildwandlerkontrolle radiologisch dargestellt und markiert. Es erfolgt eine längsverlaufende Hautinzision von ca. 2–3 cm über den markierten Stellen (Abb. 13).

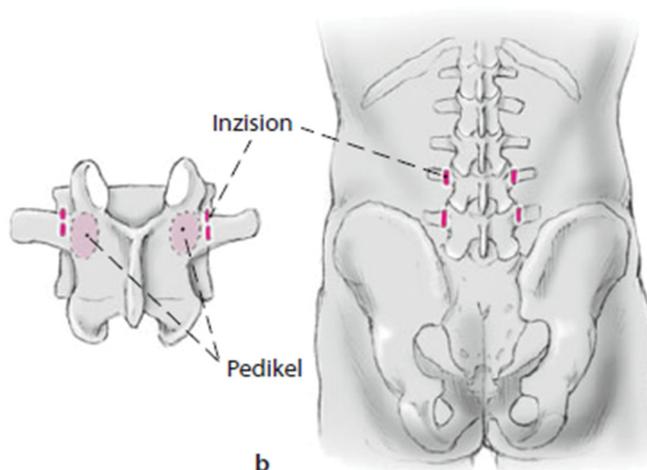


Abb. 13: Schematische Darstellung der Hautinzision. Unter radiologischer Kontrolle werden die zu operierenden Pedikeleintrittsstellen auf der Haut des Patienten markiert. Anschließend erfolgt die Hautinzision über den markierten Stellen (50)

Anschließend werden das links- und das rechtsseitige Wirbelgelenk dargestellt. Die Pedikel werden nacheinander unter Zuhilfenahme der Dorn- und Pedikelahle oder einer Jamshidi Nadel unter Durchleuchtungskontrolle lateral der Wirbelgelenke eröffnet. Bei diesem Operationsschritt sollten die Wirbelgelenke geschont werden, um eine iatrogene sekundäre Spondylarthrose zu vermeiden. Nach Überprüfung der korrekten Lage der Pedikelahle erfolgt

das Einbringen des Zieldrahtes durch den Pedikel in den Korpus des Wirbelkörpers. Die korrekte Lage der Zieldrähte in den Pedikeln wird erneut radiologisch überprüft. Nach der vorsichtigen Dilatation der Weichteile erfolgt das Ausmessen der benötigten Pedikelschraubenlänge. Nach Eindrehen der Pedikelschrauben werden die Zieldrähte entfernt und die Schraubenlage radiologisch kontrolliert. Selbiges Vorgehen erfolgt anschließend auf den weiteren zu instrumentierenden Wirbelkörperhöhen. Zuletzt werden die Längsträger perkutan eingebracht und mit Hilfe von Verschlusskappen am Kopf der Pedikelschrauben fixiert. Die korrekte Lage des implantierten Fixateurs interne wird abschließend radiologisch in zwei Ebenen mit dem Bildwandler überprüft (Abb. 14).

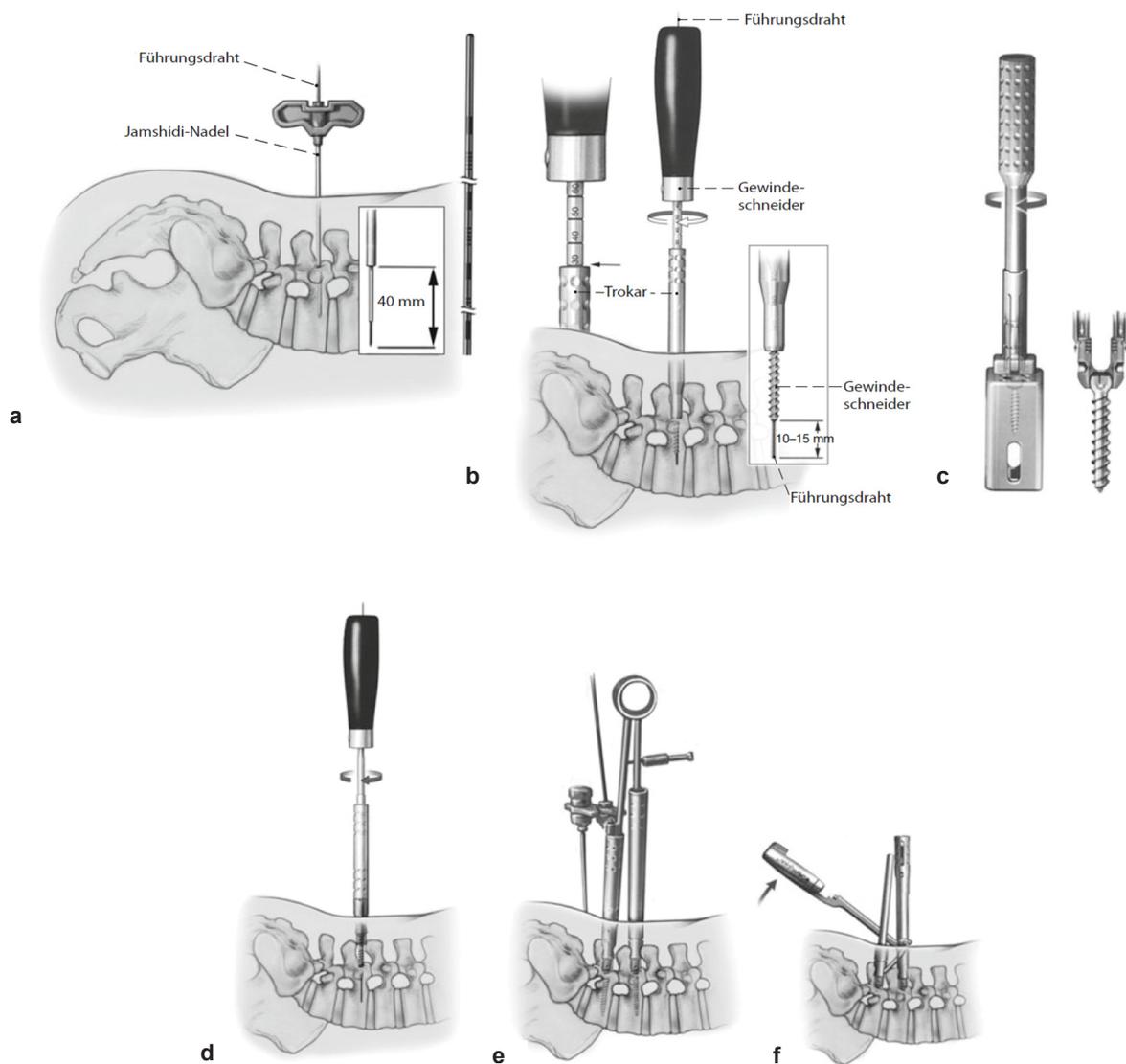


Abb. 14: Einzelschritte der Operation a Einbringen des Führungsdrahtes durch die Pedikelähle b Vorbohren des Gewindes für die Pedikelschraube und Ablesen der Schraubenlänge am Gewindeschneider c Aufsetzen der Pedikelschraube auf den Schraubendreher d Eindrehen der Pedikelschraube e Bestimmung der Stablänge für den Längsträger f Einbringen des Längsträgers von kaudal (50)

Aufgrund des geringen Pedikeldurchmessers und dem dadurch verringerten Halt der Schrauben im Pedikel, sollte kranial des zehnten Brustwirbelkörpers, wenn möglich, eine langstreckige Instrumentierung über mehrere Wirbelsegmente durchgeführt werden. Dadurch kann eine ausreichende Stabilität des Fixateur interne gewährleistet werden. Weiter kaudal ist eine bisegmentale Instrumentierung oft ausreichend. Orientierend kann der Durchmesser der Pedikelschrauben anhand der zu instrumentierenden Höhe ausgewählt werden. Im Bereich der Brustwirbelsäule sind Schrauben mit einem Durchmesser von etwa 5 mm zu wählen, im Bereich des thorakolumbalen Übergangs von etwa 6 mm und im kaudalen Bereich der Lendenwirbelsäule von etwa 7 mm. Diese Werte gelten jedoch nur zur Orientierung, da der Durchmesser der Pedikel einer individuellen Schwankungsbreite unterliegt. Zur optimalen Wahl des Schraubendurchmessers sowie zur Planung der Schraubenposition sollten die Pedikel präoperativ im CT ausgemessen und das Messergebnis intraoperativ berücksichtigt werden (49). Je nach Implantat kann unabhängig von der Höhenlokalisierung, das Einbringen von Querverbindern die Stabilität erhöhen, dies gilt insbesondere bei höhergradig instabilen Wirbelkörperfrakturen. (23, 29, 49)

1.4.2.2 Ventrale Spondylodese

Bei Frakturen, die mit einer höhergradigen Verletzung der Bandscheibe einhergehen oder bei denen ein signifikanter Repositionsverlust durch das Frakturausmaß zu erwarten ist, ist eine dauerhafte Stabilisierung durch eine rein dorsale Instrumentierung oft nicht möglich (6). Hier ist die Indikation zur Versorgung der ventralen Säule kritisch zu überprüfen. McCormack et al. (51) entwickelten ein Klassifikationssystem zur Vorhersage, welche Frakturen zusätzlich zur dorsalen Instrumentierung einer ventralen Spondylodese bedürfen. Basierend auf der Lastverteilung zwischen dem implantierten Schraubensystem und dem frakturierten Wirbelkörper sowie dem Ausmaß des Wirbelkörperschadens, der Dislokation der Frakturfragmente und dem Grad der kyphotischen Fehlstellung wird die Indikation zur zusätzlichen Rekonstruktion der ventralen Säule gestellt (10).

Bei der Rekonstruktion der ventralen Säule kann einerseits ein- oder zweizeitig nach vorausgegangener dorsaler Instrumentierung vorgegangen werden. Andererseits kann eine alleinige ventrale Versorgung unter Umständen auch direkt primär erfolgen. Durch einen seitlichen transthorakalen oder seitlichen retroperitonealen Zugang wird die Fraktur dargestellt. Ein weiterer Vorteil der ventralen Versorgung ist die Möglichkeit Fragmente, welche den Spinalkanal komprimieren, zu entfernen und größere Repositionskräfte zur Wiederherstellung der anatomischen Stellung der Wirbelsäule aufbringen zu können. Ebenfalls ist es bei diesem Zugangsweg möglich die beschädigte Bandscheibe zu entfernen und eine definitive Fusion des verletzten Wirbelsäulensegmentes durchzuführen. (10, 42)

Nach Entfernen des frakturierten Wirbelkörpers wird der entstandene Defekt überbrückt. Diese Überbrückung ist mittels Knochenimplantat, einer Vielzahl an verschiedenen Knochenersatzmaterialien oder unter Verwendung eines Wirbelkörperersatzes möglich (10). Beim isolierten ventralen Vorgehen sind die eingebrachten Implantate zusätzlich durch eine Platte oder ein Schrauben-Stab-System zu stabilisieren. Sowohl beim rein ventralen, als auch beim kombinierten dorsoventralen Vorgehen entscheidet man anhand der Knochenqualität, der Lokalisation der Fraktur und dem Ausmaß der Destruktion von Wirbelkörper und Bandscheibe über eine mono- oder bisegmentale Fusion. Bei optimalen Voraussetzungen und guter Knochenqualität kann die Fraktur monosegmental versorgt werden. Bei der bisegmentalen Versorgung kommen neben bi- oder trikortikalen autologen Knochentransplantaten auch expandierbare Wirbelkörperersatzimplantate zum Einsatz. (23)

Die ventrale Spondylodese kann wie alle hier beschriebenen operativen Verfahren sowohl in offener als auch in minimalinvasiver Technik durchgeführt werden. Trotz dessen sich das minimalinvasive Verfahren nach und nach durchsetzt, werden immer noch offene Operationsverfahren angewandt. Ein entscheidender Nachteil der ventralen Versorgung stellt dabei vor allem der operative Zugangsweg dar. Die anatomische Nähe zum Zwerchfell, den thorakalen und abdominellen Organen sowie zu den großen Viszeralgefäßen ist eine große Gefahr für intraoperative Verletzungen und geht häufig mit einem postthorakalen Syndrom, Herniationen und Schmerzen einher. Auch der beim offenen Verfahren angewendete paramediane Zugang resultiert häufig in Verletzungen der Muskulatur mit begleitender Ischämie und anschließender Atrophie. Mit Hilfe minimalinvasiver Verfahren und unter Verwendung der thorakoskopischen Technik kann durch eine deutlich kleinere Eintrittspforte die thorakolumbale Wirbelsäule schonender dargestellt werden. (10)

Durch die Etablierung dieser Verfahren konnte zwar die Zugangsmorbidität der ventralen Spondylodese deutlich reduziert werden, übersteigt jedoch noch immer die Zugangsmorbidität der dorsalen Operationsverfahren (52).

1.4.2.3 Vertebroplastie und Kyphoplastie

Eine Sonderrolle bei der operativen Versorgung stellen osteoporotische Frakturen des älteren Menschen dar. Aufgrund der verminderten Knochenqualität kommt es häufig zum Ausreißen des eingebrachten Schraubenmaterials und somit zu einem unzufriedenstellenden Behandlungsergebnis. Eine gute Möglichkeit zur Therapie osteoporotischer Frakturen ist die Ballonkyphoplastie. Durch Einbringen und Expandieren eines Ballons auf Frakturhöhe kann der entsprechende Wirbelkörper reponiert und durch Zementinstallation stabilisiert werden. Im Gegensatz dazu erfolgt bei der Vertebroplastie keine direkte Reposition des Wirbelkörpers.

Bei diesem Verfahren wird der Wirbelkörper lediglich im ventralen Durchgang reponiert und anschließend mit Knochenzement gefüllt. (9, 10, 23)

Bei komplexen und höhergradig instabilen Frakturen ist eine Stabilisierung des osteoporotischen Knochens mittels Kypho- oder Vertebroplastie jedoch oft nicht ausreichend, sodass eine dorsale Instrumentierung erforderlich wird. In diesem Fall ist zur Vermeidung des Ausreißen der eingebrachten Pedikelschrauben die Verwendung von zementaugmentierten Pedikelschraubensystemen möglich. Hierbei werden kanülierte Pedikelschrauben mit entsprechender Perforation im Schraubengewinde eingebracht. Durch Einspritzen von Knochenzement, der dann das Schraubenlager im Wirbelkörper umgibt, werden diese zusätzlich stabilisiert und somit ein Ausreißen des Osteosynthesematerials verhindert. Das Einbringen eines zementaugmentierten Fixateur interne kann dabei auch mit einer Kypho- oder Vertebroplastie des frakturierten oder den an den frakturierten Wirbelkörper angrenzenden Wirbelkörper kombiniert werden. (9, 23, 25, 53)

Im Gegensatz zum konservativen Vorgehen ist bei der Kypho- bzw. Vertebroplastie eine Korrektur der frakturbedingten Fehlstellung und eine Wiederherstellung des sagittalen Alignments möglich. Im Vergleich zum konservativen Vorgehen gelingt hierdurch eine deutliche Schmerzreduktion mit vereinfachter Mobilisation sowie die Vermeidung schwerwiegender Komplikationen durch eine verlängerte Bettlägerigkeit oder Invalidität der geriatrischen Patienten (9). Gerade bei älteren Patienten mit osteoporotischer Komponente ist insbesondere bei multiplen Wirbelkörperfrakturen mit erheblichen Schmerzen zu rechnen. Hinzu kommt, dass im Falle einer Nachsinterung der Fraktur bzw. beim Auftreten von Anschlussfrakturen eine zunehmende unphysiologische Kyphosierung der Wirbelsäule Folge sein kann. Die Ausbildung eines erheblichen Gibbus mit Beeinträchtigung der Lungenfunktion und eingeschränkter Gangsicherheit ist daraufhin zu erwarten. Um diese Komplikationen zu vermeiden ist die minimalinvasive Kypho- bzw. Vertebroplastie eine gute Therapiealternative, die mit einem geringen Zugangstrauma einher geht und vor allem für komorbide Patienten von Vorteil ist. (54)

1.5 Aktuelle Forschungsgrundlage

Trotz umfangreicher Studien hinsichtlich der optimalen Therapie von thorakalen und lumbalen Wirbelkörperfrakturen ohne neurologisches Defizit herrscht nach wie vor Uneinigkeit über die genaue Indikationsstellung zur operativen Versorgung dieser Frakturen. Ebenso ist die Wahl des am besten geeigneten operativen Verfahrens immer noch Gegenstand zahlreicher Diskussionen. (5–9)

Zur Wiederherstellung der Stabilität bei instabilen Wirbelkörperfrakturen setzte sich in den letzten Jahren die dorsale, minimalinvasive Instrumentierung mittels Pedikelschrauben

weitestgehend durch (10–12). Dabei wird zum einen die durch die Fraktur bedingte kyphotische Fehlstellung korrigiert und zum anderen die biomechanische Stabilität der Wirbelsäule wiederhergestellt (2, 10, 55).

Weitestgehend Einigkeit herrscht aktuell über die Auswahl des Zugangsweges zur dorsalen Instrumentierung. Aufgrund der niedrigen Komplikationsraten, einer deutlich reduzierten Operationsdauer, einem geringeren Blutverlust sowie der Schonung der paravertebralen Muskulatur hat sich das minimalinvasive Vorgehen gegenüber dem offenen Verfahren zur Stabilisierung thorakolumbalen Wirbelkörperfrakturen als zuverlässig erwiesen (7, 11, 13, 14, 47).

Das offene Verfahren geht insgesamt mit einer erhöhten Zugangsmorbidität einher. So können durch die minimalinvasive Methode iatrogene Muskeldenervationen mit Ischämien und funktionelle Beeinträchtigungen vermieden werden. Ein weiterer Vorteil dieser Methode zeigt sich in der kürzeren Dauer des Eingriffes sowie in einer minimalen Zugangsgröße. Dadurch können auch diejenigen Patienten operativ behandelt werden, denen aufgrund ihrer medizinischen Vorgeschichte von einer offenen Operation abgeraten wird. (16, 56)

Unter den verschiedenen Implantaten, die für die minimalinvasive dorsale Stabilisierung zur Verfügung stehen, haben sich die Pedikelschraubensysteme im Laufe der Zeit etabliert. Sie ermöglichen durch die einfache Instrumentierung ein problemloses perkutanes Einbringen der Längsträger und stabilisieren dabei adäquat die Wirbelsäule. (48, 57, 58)

Grundsätzlich lassen sich zwei verschiedene Pedikelschraubensysteme unterscheiden, welche beide bei der minimalinvasiven Instrumentierung zum Einsatz kommen können (6). Während monoaxiale Pedikelschrauben einen starren Kopf besitzen, ist der Kopf von polyaxialen Pedikelschrauben frei beweglich (12, 58). Der Schraubenkopf der polyaxialen Pedikelschrauben ist durch eine hemisphärische Schnittstelle zwischen Schraubenkopf und Schraubenschaft gekennzeichnet und ermöglicht dadurch eine polyaxiale Beweglichkeit des Kopfes auf der Schraube. Die Fixierung des Kopfes auf der Schraube erfolgt durch eine Innenschraube, eine Außenmutter oder eine Kombination aus beidem. Diese Konstruktion fixiert den Längsverbindingsträger am Schraubenkopf und den Schraubenkopf an der Pedikelschraube. (59)

Durch das spezifische Design des polyaxialen Schraubensystems besteht eine verringerte Druck- und Biegefestigkeit am Schraubenkopf. Diese geringere biomechanische Stabilität birgt im Vergleich zu monoaxialen Pedikelschrauben das Risiko eines sekundären Repositionsverlustes unter Belastung. Dadurch kommt es aber auch zu einer reduzierten Rate an Brüchen des Schraubenschaftes, da das Konstrukt gegenüber einer axialen Belastung in gewissem Maße nachgeben kann. Zudem ist ein effizienteres und einfacheres Einsetzen des

Längsverbindingsträger aufgrund der Polyaxialität des Schraubenkopfes möglich. (57–59) Im Gegensatz dazu erweist sich die minimalinvasive Instrumentierung der Längsverbindingsträger mit den monoaxialen Pedikelschrauben als deutlich schwerer. Grund dafür ist der unbewegliche Schraubenkopf (58). Die segmentale Stabilisierung mit monoaxialen Pedikelschrauben erhöht jedoch die Konstruktionssteifigkeit und schützt den gebrochenen Wirbelkörper besser vor anterioren Belastungen als polyaxiale Schraubensysteme.

Im Vergleich zum monoaxialen Schraubensystem haftet dem polyaxialen Schraubensystem an, im postoperativen Verlauf das erreichte Repositionsergebnis nicht halten zu können (3, 5, 6, 8, 11, 12, 15–17, 56, 60). Durch die erhöhte mechanische Belastung des polyaxialen Schraubenkopfes bei der Flexion kann es zu einer Reduktion der Segmentlordose kommen (58). Dieses Phänomen wird vor allem bei der kurzstreckigen Versorgung thorakolumbaler Wirbelkörperfrakturen beschrieben (61).

Trotz des häufig beobachteten Repositionsverlustes nach rein dorsaler Instrumentierung mit polyaxialen Pedikelschrauben, wird diese Methode im klinischen Alltag immer häufiger verwendet. Grund dafür könnte sein, dass sich sowohl das funktionelle Ergebnis als auch die postoperative Lebensqualität der Patienten nur unwesentlich von dem monoaxialer Schraubensysteme oder dem der kombinierten dorsoventralen Spondylodese unterscheidet (13, 52, 62). Aus diesem Sachverhalt ergibt sich die Frage, ob die Anwendung minimalinvasiver und von dorsal instrumentierter polyaxialer Pedikelschrauben trotz eines eventuell eintretenden höheren Repositionsverlustes im postoperativen Verlauf die überlegene Therapieoption darstellt.

1.6 Ziele der Arbeit

Im Rahmen dieser Arbeit sollen folgende Fragen beantwortet werden:

1. Welches Repositionsergebnis kann nach minimalinvasiver dorsaler Stabilisierung erzielt werden?
2. Wie verhält sich der Repositionsverlust nach minimalinvasiver dorsaler Stabilisierung im Nachuntersuchungszeitraum?
3. Wie verhalten sich das Repositionsergebnis und der Repositionsverlust in Abhängigkeit zum Alter der Patienten, zur Klassifikation der Fraktur und zur Höhe der erfolgten minimalinvasiven dorsalen Instrumentierung?
4. Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Repositionsergebnis, dem Repositionsverlust und dem Behandlungsergebnis der Patienten?

2 Patienten und Methoden

2.1 Patientenkollektiv

Bei dieser Studie handelt es sich um eine monozentrische Studie, die am Klinikum Darmstadt in der Klinik für Orthopädie, Unfall- und Handchirurgie durchgeführt wurde. Das Studienvorhaben wurde vorab durch die Ethikkommission der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf geprüft und genehmigt (Ethikvotum Nr.: 5430).

Erfasst wurden alle Patienten mit einer thorakalen, thorakolumbalen und/oder lumbalen Wirbelkörperfraktur, welche mittels minimalinvasiver dorsaler Spondylodese mit polyaxialen Pedikelschrauben während eines 5-Jahres Zeitraumes vom 1.12.2012 bis 1.12.2017 operativ versorgt wurden. Die Höhe der frakturierten Wirbelkörper erstreckte sich dabei vom 3. Brustwirbelkörper bis zum 5. Lendenwirbelkörper.

Die Patientenauswahl erfolgte durch eine strukturierte Suche im Datenbanksystem des Klinikum Darmstadt. Als Suchkriterien wurden dabei die Diagnosecodes nach ICD-10-GM Version 2019 (International Classification of Disease–German Modification) (63) für Wirbelkörperfrakturen verwendet (Tabelle 1).

ICD-10-GM 2019	Bezeichnung
T08.-	Fraktur der Wirbelsäule, Höhe nicht näher bezeichnet
S32.0-	Fraktur eines Lendenwirbels
S32.00	Höhe nicht näher bezeichnet
S32.01	L1
S32.02	L2
S32.03	L3
S32.04	L4
S32.05	L5
S32.82	Lendenwirbelsäule und Kreuzbein, Teil nicht näher bezeichnet
S22.0-	Fraktur eines Brustwirbels
S22.00	Höhe nicht näher bezeichnet
S22.01	T1 und T2
S22.02	T3 und T4
S22.03	T5 und T6
S22.04	T7 und T8
S22.05	T9 und T10
S22.06	T11 und T12
S22.1	Multiple Frakturen der Brustwirbelsäule

Tabelle 1: Verwendete Diagnosecodes nach ICD-10-GM Version 2019 (63)

Einschlusskriterien für die Aufnahme in die Studie waren das Erreichen des 18. Lebensjahres zum Unfallzeitpunkt sowie die schriftliche Einwilligung in das Studienprotokoll. Eine fehlende Einwilligungsfähigkeit aufgrund von Demenz, gesetzlicher Betreuung, psychiatrischen Erkrankungen, Alkoholismus oder Drogenabusus schlossen eine Teilnahme an der Studie aus. Ebenfalls ausgeschlossen wurden alle Patienten mit einer bekannten Vorerkrankung der Wirbelsäule, welche zu einer erheblichen Funktionseinschränkung führt, wie zum Beispiel Patienten mit rheumatoider Arthritis oder Spondylitis ankylosans.

Während des Beobachtungszeitraumes wurden 189 Patienten mit einer frischen Wirbelkörperfraktur mittels dorsaler minimalinvasiver Spondylodese operativ versorgt. Von den 189 Patienten wurden 27 Patienten aufgrund der oben genannten Ausschlusskriterien nicht in die Studie aufgenommen. Weitere vier Patienten verstarben in der Zwischenzeit und bei 15 Patienten war die Kontaktaufnahme aufgrund fehlender Kontaktdaten nicht möglich. Somit waren insgesamt 143 Patienten für die Studie geeignet, wovon 78 Patienten schriftlich in das Studienprotokoll einwilligten.

Im Patientenkollektiv lag eine annähernd ausgeglichene Geschlechterverteilung vor. Es nahmen 40 Männer (51,3 %) und 38 Frauen (48,7 %) an der Studie teil. Das Durchschnittsalter der Patienten zum Unfallzeitpunkt lag im Mittel bei 61 ± 17 Jahren.

2.2 Datenerfassung

Alle Patienten wurden postoperativ telefonisch kontaktiert und sowohl mündlich als auch schriftlich über die geplante Studie aufgeklärt. Sofern die Patienten in die Studie und das Studienprotokoll schriftlich einwilligten, wurden die Behandlungsdaten der Patienten anhand der elektronischen Krankenakte zur Auswertung erhoben. Die radiologischen Ergebnisse wurden mittels der ebenfalls digital gespeicherten Röntgen-, CT- und/oder MRT-Bilder bestimmt.

Zunächst wurden deskriptive Patientendaten wie Alter, Geschlecht, relevante Vorerkrankungen, der Unfallmechanismus und eventuell bestehende Begleitverletzungen erfasst. Anschließend erfolgte die Auswertung der Frakturhöhe, der Frakturklassifikation nach der aktuellen AO-Klassifikation, der Art des verwendeten Schraubensystems, der instrumentierten Wirbelkörper sowie alle peri- und postoperativ aufgetretenen Komplikationen. Anschlussoperationen wie die Entfernung des Schraubenmaterials oder die sekundäre ventrale Stabilisierung mittels Wirbelkörperersatz wurden ebenfalls dokumentiert.

Zusätzlich zu den bereits vorhandenen Patientendaten wurde allen Patienten ein standardisierter Fragebogen ausgehändigt. Dieser Fragebogen ermittelt die subjektive Einschätzung des Behandlungsergebnisses durch den Patienten anhand von Fragen zur

Funktionalität der Wirbelsäule sowie zur Wahrnehmung von Schmerzen im Alltag. Die Zusendung des Fragebogens erfolgte frühestens 6 Monate nach stattgehabter operativer Versorgung.

2.3 Radiologische Untersuchung

Um das Repositionsergebnis und den Repositionsverlust der frakturierten Wirbelsäule objektiv beurteilen zu können, wurden die vorhandenen radiologischen Bilder zu festgelegten Zeitpunkten ausgewertet. Die Auswertung erfolgte unmittelbar vor bzw. nach der operativen Versorgung sowie postoperativ zu verschiedenen Zeitpunkten der Nachuntersuchung. Im Rahmen der radiologischen Auswertung wurden der Körperwinkel sowie der monosegmentale und bisegmentale Grund-/Deckplattenwinkel des frakturierten Wirbelkörpers erfasst.

Die radiologische Untersuchung umfasste die Auswertung aller radiologischen Bilder, welche im Verlauf des stationären Aufenthaltes oder bei klinischen Nachuntersuchungen angefertigt wurden. Dabei wurden Röntgenbilder im anterioren-posterioren (a.p.) und im lateralen Strahlengang sowie CT- und/oder MRT-Aufnahmen in axialer, sagittaler und koronarer Schnittebene ausgewertet. Die Beurteilung der radiologischen Bilder erfolgte mit dem digitalen klinikinternen Programm SkyVue der Firma Cerner und den darin enthaltenen Messinstrumenten. Die Messergebnisse wurden durch den Untersucher erhoben und nochmals von einem erfahrenen Chirurgen für Wirbelsäulenverletzungen überprüft.

2.3.1 Körperwinkel

Der Körperwinkel des frakturierten Wirbelkörpers im seitlichen Strahlengang gibt Auskunft über die kyphotische Fehlstellung des Wirbelkörpers. Der Körperwinkel wird dabei durch eine Gerade von der Wirbelkörperhinterkante bis zur Wirbelkörpervorderkante der Grundplatte sowie durch eine Gerade von der Wirbelkörperhinterkante bis zur Wirbelkörpervorderkante der Deckplatte des frakturierten Wirbelkörpers gebildet. Die Schnittstelle der beiden Geraden ergibt den Körperwinkel (Abb. 15). (64)

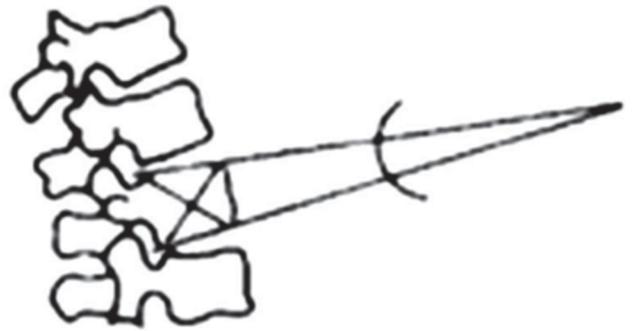
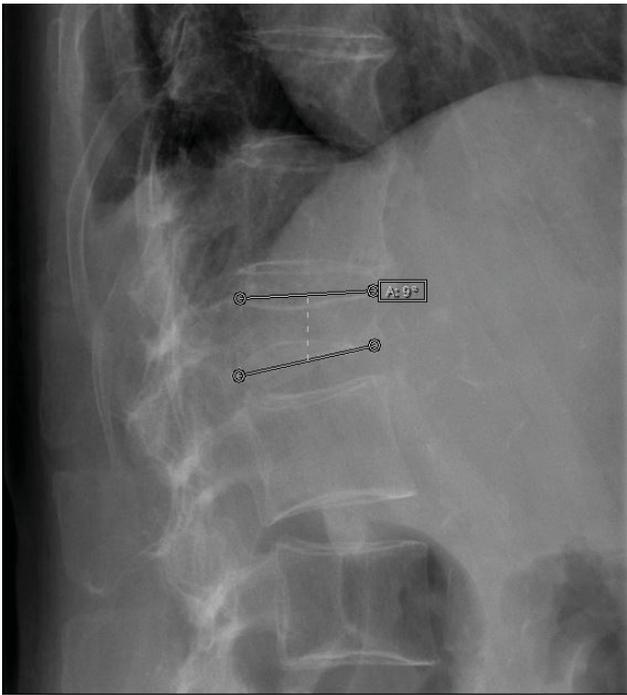


Abb. 15: Messung des Körperwinkels im seitlichen Strahlengang. Linkes Bild aus der eigenen Studie. Rechtes Bild siehe Literaturverweis (64)

2.3.2 Monosegmentaler Grund-/Deckplattenwinkel

Der monosegmentale Grund-/Deckplattenwinkel (mGDW) gibt Auskunft über die kyphotische Fehlstellung des von der Fraktur betroffenen Bewegungssegmentes unter Einschluss der Bandscheibe kranial der Fraktur. Dabei werden Fehlstellungen, welche durch eine mögliche Bandscheibenverletzung in diesem Bereich bedingt sind, miteingeschlossen. Dieser Winkel zur Beurteilung der kyphotischen Fehlstellung hat insbesondere bei einer inkompletten Berstungsfraktur eine hohe Relevanz. Der mGDW wird dabei durch eine Gerade von der Wirbelkörperhinterkante bis zur Wirbelkörpervorderkante der Grundplatte des frakturierten Wirbelkörpers, sowie durch eine Gerade von der Wirbelkörperhinterkante bis zur Wirbelkörpervorderkante der Deckplatte des kranial der Fraktur gelegenen Wirbelkörpers gebildet. Die Schnittstelle der Orthogonalen der gezogenen Geraden ergibt den monosegmentalen Grund-/Deckplattenwinkel (Abb. 16). (64)

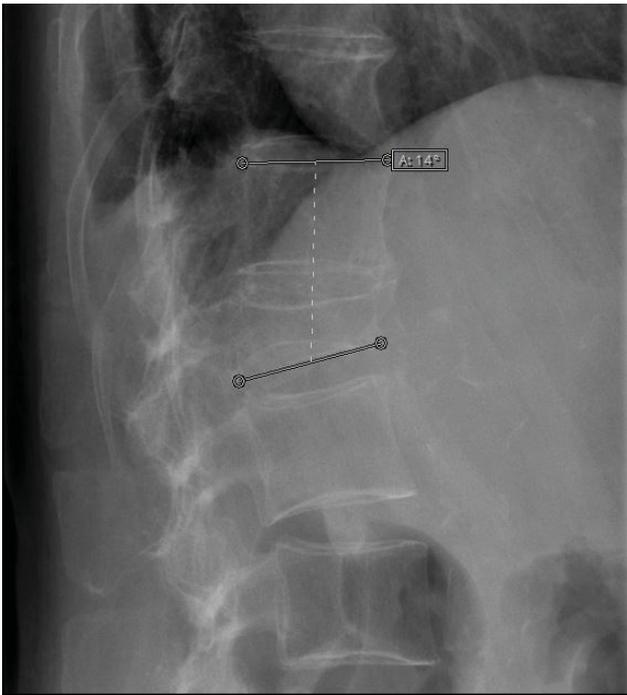


Abb. 16: Messung des monosegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels im seitlichen Strahlengang. Linkes Bild aus der eigenen Studie. Rechtes Bild siehe Literaturverweis (64)

2.3.3 Bisegmentaler Grund-/Deckplattenwinkel

Der bisegmentale Grund-/Deckplattenwinkel (bGDW) gibt Auskunft über die kyphotische Fehlstellung des kranial sowie kaudal der Fraktur gelegenen Bewegungssegmentes. Dabei werden Fehlstellungen, die durch eine mögliche Bandscheibenverletzung kranial und kaudal des frakturierten Wirbelkörpers bedingt sind miteingeschlossen. Dieser Winkel zur Beurteilung der kyphotischen Fehlstellung ist insbesondere bei einer kompletten Berstungsfraktur von hoher Relevanz. Der bGDW wird dabei durch eine Gerade von der Wirbelkörperhinterkante bis zur Wirbelkörpervorderkante der Grundplatte des kaudal von der Fraktur gelegenen Wirbelkörpers sowie durch eine Gerade von der Wirbelkörperhinterkante bis zur Wirbelkörpervorderkante der Deckplatte des kranial des frakturierten Wirbelkörpers gelegen gebildet. Die Schnittstelle der Orthogonalen der gezogenen Geraden ergibt den bisegmentalen Grund-/Deckplattenwinkel (Abb. 17). (64)



Abb. 17: Messung des bisegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels im seitlichen Strahlengang.
 Linkes Bild aus der eigenen Studie. Rechtes Bild siehe Literaturverweis (64)

2.4 Patientenfragebogen

Mit Hilfe des VAS-Wirbelsäulenscores der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) wurden alle Patienten postoperativ zu ihrer aktuellen Situation befragt. Bei dem VAS-Wirbelsäulenscore handelt es sich um einen patientenzentrierten Fragebogen („Patient Reported Outcome Measures“, kurz PROM) auf der Grundlage des ebenfalls von der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der DGU entwickelten „Hannover Wirbelsäulenscore“. Der Score in Form eines Fragebogens wurde nach den empirischen Gütekriterien für neue Messvorschriften entwickelt und mehrfach validiert.

Bei der Erfassung des „Patient Reported Outcome Measures“ handelt es sich um die subjektive Einschätzung des Therapieerfolges durch den Patienten. Die objektive Einschätzung des Therapieergebnisses durch den Arzt wird somit subjektiv ergänzt. Die zur Erfassung des „Patient Reported Outcome Measures“ verwendeten Instrumente werden als PROM bezeichnet und häufig in Form von strukturierten Fragebögen dargestellt, um eine Vergleichbarkeit der erhobenen Daten zu gewährleisten.

Ziel des hier verwendeten Fragebogens ist es, das subjektive Behandlungsergebnis der Patienten zu erfassen. Der Fragebogen wurde den Patienten frühestens 6 Monate nach operativer Versorgung zur Bearbeitung ausgehändigt. Dabei konnte der Fragebogen eigenständig, untersucherunabhängig und von zu Hause aus ausgefüllt werden, sodass keine weitere Vorstellung in der Klinik notwendig war.

Zu bearbeiten waren insgesamt 19 Aussagen, welche in Form eines subjektiven Bewertungsmaßstabes abgefragt wurden. Diese Aussagen beziehen sich auf das Maß der Funktionseinschränkung der Wirbelsäule, sowie auf das Vorhandensein von Rückenschmerzen in verschiedenen Situationen des Alltages. Pro Aussage kann auf einer linearen, visuellen Analogskala ein Kreuz gesetzt werden, welches die persönliche Situation des Patienten am besten wiedergibt. Dabei befindet sich bei jeder Aussage am linken Rand der negativste Wert und am rechten Rand der positivste Wert. Punkteangaben, Markierungen oder eine sonstige Abschnittseinteilung sind auf der Skala nicht vorhanden. Die Auswertung des Fragebogens erfolgt manuell durch den Untersucher. Die Skalenlänge zur Beantwortung einer jeden Aussage ist durch den Autor des Fragebogens auf 100 mm genormt. Durch das Ausmessen der Entfernung mit einem Lineal vom linken Anfangspunkt der Skala bis zum Antwortkreuz ergibt den Punktwert einer jeden Aussage. So wird bei einer Strecke von bspw. 86 mm eine Punktzahl von 86 von 100 möglichen Punkten vergeben. Aus allen Werten wird ein Gesamtscorewert ermittelt, welcher wiederum Werte von 0 bis 100 annehmen kann. Dieser wird aus dem Mittelwert der Punktwerte aller beantworteten Fragen gebildet. Der Fragebogen ist so konstruiert, dass zur Ermittlung des Gesamtscorewertes die Beantwortung aller Fragen keine zwingende Voraussetzung ist. So können auch einzelne Fragen ausgelassen werden, wenn von Seiten der Patienten eine Beantwortung nicht möglich oder unerwünscht ist. Die Punktwerte jeder einzelnen Aussage wurden in eine Excel-Tabelle übertragen und anschließend der Gesamtscorewerte berechnet. (65)

2.5 Statistische Auswertung

Die Erfassung und Bearbeitung der Patientendaten erfolgten zum Zwecke der Auswertung zunächst durch die Übertragung in Excel-Tabellen (Microsoft® Office Excel®, Version 1902). Die statistische Auswertung der deskriptiven Daten sowie die grafische Darstellung dieser wurden ebenfalls mit Microsoft Excel durchgeführt. Weitere statistische Auswertungen sowie die Erstellung von Boxplots erfolgten mit Hilfe des Statistik Programms SPSS Statistics® (Version 23) der Firma IBM®.

Die auszuwertenden Daten wurden mit dem Kolmogorow-Smirnow-Test sowie mit dem Shapiro-Wilk-Test zunächst auf Normalverteilung überprüft. Bei großer Stichprobenanzahl erfolgte die zusätzliche Überprüfung mittels Q-Q-Diagramm. Da bei keiner der auszuwertenden Daten eine Normalverteilung vorlag, erfolgte der Mittelwertvergleich anhand von nicht parametrischen Tests.

Bei verbundenen Stichproben erfolgte der Mittelwertvergleich zweier Variablen mit dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test und der Vergleich von mehr als zwei Variablen mit dem Friedman-Test.

Bei unverbundenen Stichproben wurde der Mittelwertvergleich zweier Variablen mit dem Mann-Whitney-U-Test und zum Vergleich von mehr als zwei Variablen mit dem Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Zur Überprüfung einer bivalenten Korrelation wurde der Pearson-Korrelationskoeffizient bei metrisch skalierten Variablen bestimmt.

Allen statistischen Tests lag ein Signifikanzniveau von $p = 0,05$ zu Grunde.

Zur Literaturverwaltung wurde das Literaturverwaltungsprogramm citavi[®] (Version 6.3.0.0) der Firma Swiss Academic Software[®] verwendet.

3 Ergebnisse

3.1 Patientenkollektiv

Es erfüllten 162 Patienten die Einschlusskriterien zur Teilnahme an dieser Studie. Von diesen 162 Patienten waren vier Patienten zu Studienbeginn bereits verstorben und bei weiteren 15 Patienten war eine Kontaktaufnahme zur Einwilligung in das Studienprotokoll nicht möglich. Somit wurden insgesamt 143 Patienten kontaktiert von denen 78 Patienten sowohl mündlich als auch schriftlich in das Studienprotokoll einwilligten. Daraus ergibt sich eine Einschlussquote von 54,55 %.

Das Patientenkollektiv der Studie setzte sich aus 40 Männern (51,3 %) und 38 Frauen (48,7 %) zusammen. Der Altersdurchschnitt zum Unfallzeitpunkt lag bei 61 ± 17 Jahren (Median: 64 Jahre) mit einer Spanne von 18 bis 86 Jahren. Nach Geschlecht differenziert, lag das Durchschnittsalter der Männer bei 58 ± 17 Jahren (Median: 61 Jahre) mit einer Spanne von 24 bis 82 Jahren und das der Frauen bei 64 ± 17 Jahren (Median: 68 Jahre) mit einer Spanne von 19 bis 86 Jahren.

Die Aufteilung der Patienten in Altersklassen zeigt eine Zunahme an Wirbelkörperfrakturen mit ansteigendem Alter (Abb. 18). Lediglich in der Altersklasse ≥ 80 Jahre nimmt die Anzahl der Patienten mit einer Wirbelkörperfraktur wieder ab. Die meisten Patienten mit einer Wirbelkörperfraktur sind zwischen 50 und 79 Jahren ($n = 47$) alt, wobei die Altersklasse von 70 bis 79 Jahren ($n = 18$) am stärksten vertreten ist. Bezüglich der Geschlechterverteilung zeigt sich bei den Patienten zwischen 50 und 79 Jahren eine nahezu ausgeglichene Verteilung von Männern und Frauen. In den jüngeren Altersklassen (0 bis 49 Jahre) sind etwa doppelt so viele Männer wie Frauen vertreten und in der Altersklasse ≥ 80 Jahre doppelt so viele Frauen wie Männer (Abb. 18).

Zum Zeitpunkt des Unfalls waren bei 22 Patienten insgesamt 27 orthopädisch relevante Vorerkrankungen bekannt. Bei der Erfassung relevanter Vorerkrankungen war eine Mehrfachnennung für jeden Patienten möglich. Eine bereits vor dem Unfallzeitpunkt diagnostizierte Osteoporose lag bei acht Patienten vor. Bei sechs Patienten war eine frühere und bereits verheilte Wirbelkörperfraktur bekannt. Bei insgesamt drei Patienten lag eine neurologische oder rheumatische Erkrankung mit Beeinträchtigung der Beweglichkeit vor. Zehn Patienten wurden aufgrund relevanter internistischer Erkrankungen als multimorbide eingestuft. Die Definition der Multimorbidität richtete sich dabei nach der DEGAM (Deutsche Gesellschaft für Allgemeinmedizin und Familienmedizin e.V.) Leitlinie zur Multimorbidität von 2018. Demnach wird dann von einer Multimorbidität gesprochen, wenn gleichzeitig drei oder

mehr chronische Erkrankungen vorliegen, die in ihrer Gesamtheit im medizinischen Fokus stehen. (66)

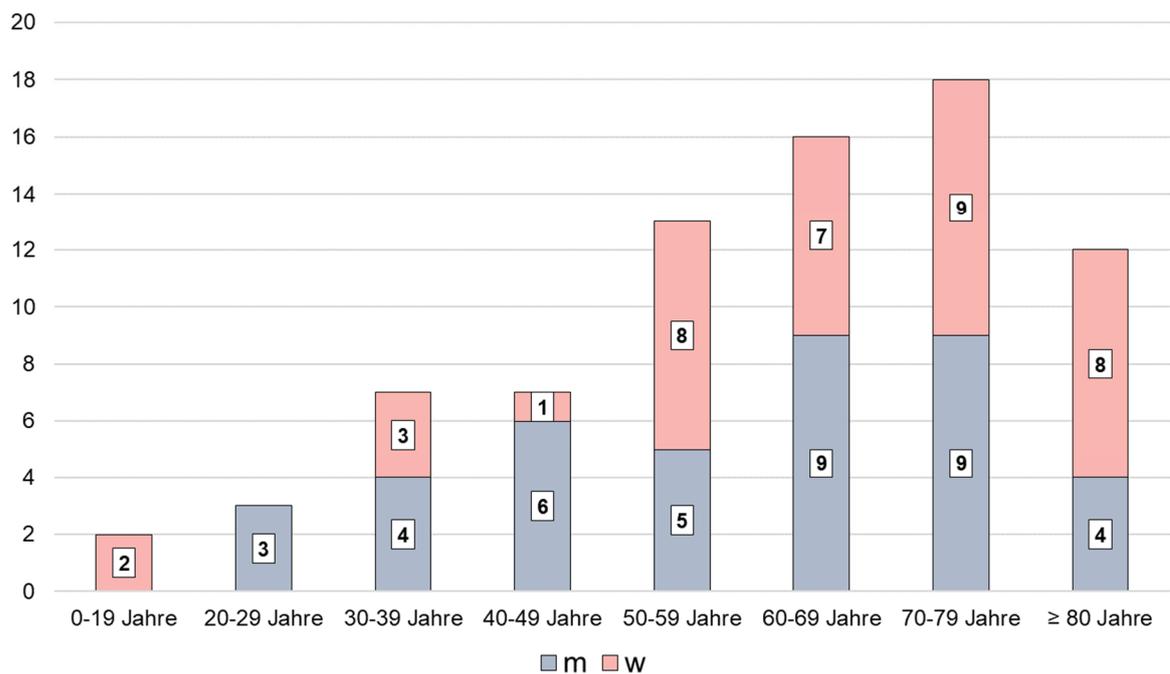


Abb. 18: Anzahl an Wirbelkörperfrakturen aufgeteilt nach Geschlecht und Altersklassen.
m = männlich, w = weiblich

3.2 Unfallmechanismus und Begleitverletzungen

Die zugrundeliegenden Unfallmechanismen, die zu einer Wirbelkörperfraktur geführt haben, wurden in drei Kategorien unterteilt. Bei einem Sturz aus großer Höhe oder einer großen Krafteinwirkung von außen (bspw. Leitersturz oder Sturz vom Pferd) wurde der Unfall als „Hochenergetisches Trauma“ (n = 40) kategorisiert. Als eine Subgruppe in der Kategorie „Hochenergetisches Trauma“ wurden Verkehrsunfälle (n = 11) separat erfasst. Dabei wurde jeder Unfall berücksichtigt, bei dem der Patient als Teilnehmer am Straßenverkehr (Fußgänger, Rad- oder Autofahrer) beteiligt war. Bei Stürzen aus dem Stand, Stolperstürzen oder bei einer für das Trauma inadäquaten Krafteinwirkung wurde das Ereignis als „Niedrigenergetisches Trauma“ (n = 24) eingestuft. Zusätzlich wurden alle Unfälle erfasst, bei denen anamnestisch keine Angaben zum Unfallgeschehen (n = 3) zu erheben waren. Zu erkennen ist, dass jüngere Patienten bis 40 Jahre in der Regel eher ein hochenergetisches Trauma erlitten, wohingegen ältere Patienten eher im Rahmen eines niedrigenergetischen Traumas verunfallten. Verkehrsunfälle hingegen traten unabhängig vom Patientenalter gleichmäßig verteilt auf (Abb. 19).

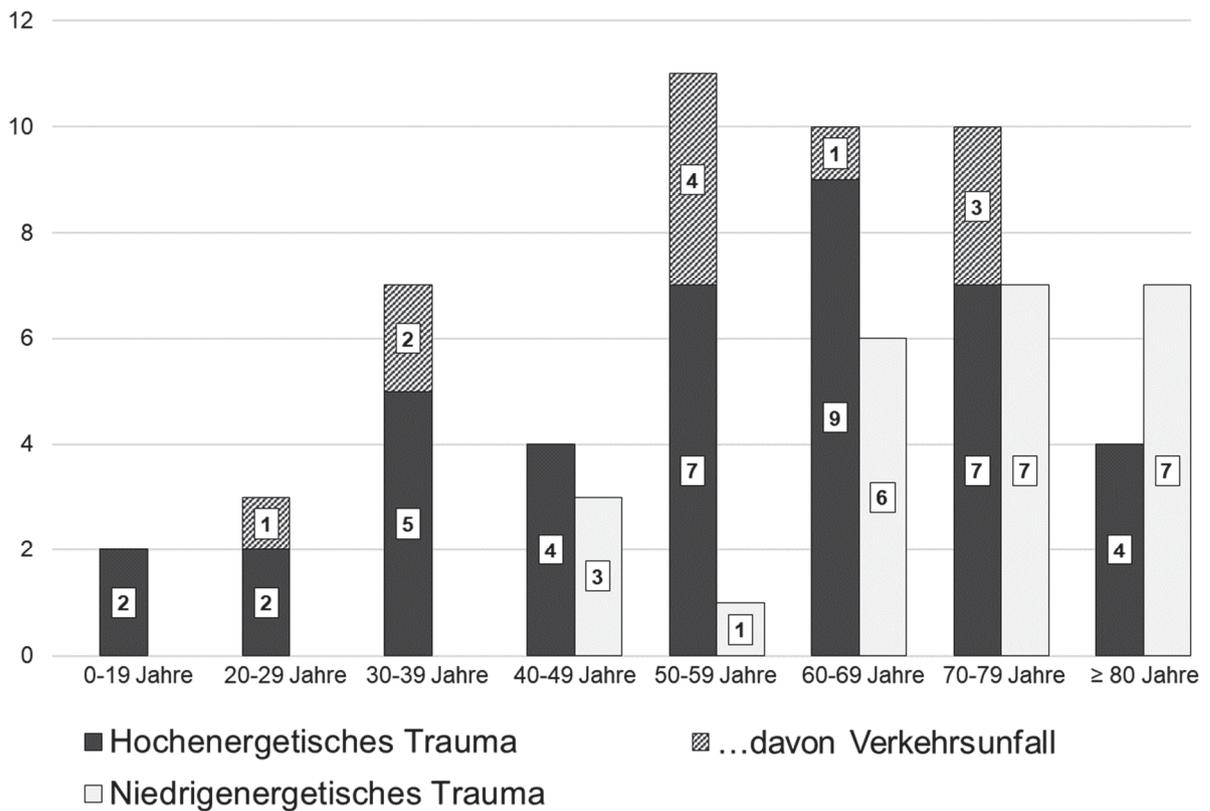


Abb. 19: Unfallmechanismus aufgeteilt nach Altersklassen

Im Rahmen des Unfallgeschehens erlitten 56 Patienten eine Monoverletzung. Bei 22 Patienten wurden eine oder mehrere Begleitverletzungen dokumentiert, wovon vier der Patienten die Kriterien eines Polytraumas (Injury Severity Score ≥ 16) erfüllten. Alle polytraumatisierten Patienten hatten einen Verkehrsunfall. Da einige Patienten mehr als eine Begleitverletzung erlitten, wurden insgesamt 30 Begleitverletzungen dokumentiert (Tabelle 2).

Begleitverletzung	Anzahl Patienten	Anzahl in Prozent
Keine Begleitverletzung	56	65,1 %
Zusätzliche Wirbelkörperfraktur	11	12,8 %
Sonstige Fraktur, n. n. bez.	5	5,8 %
Stumpfes Thoraxtrauma	4	4,7 %
Sonstige Verletzung der Wirbelkörper ohne neurologische Ausfälle	3	3,5 %
Stumpfes Abdominaltrauma	3	3,5 %
Schädel-Hirn-Trauma	2	2,3 %
Intrakranielle Blutung	2	2,3 %
Gesamt	86	100,0 %

Tabelle 2: Aufgetretene Begleitverletzungen und deren Häufigkeiten

3.3 Frakturspezifische Parameter

3.3.1 Frakturlokalisierung

Im Gesamtkollektiv der 78 Patienten wurden insgesamt 88 Wirbelkörperfrakturen diagnostiziert. Die Frakturen verteilten sich zwischen dem 3. Brustwirbelkörper und dem 5. Lendenwirbelkörper. Dabei wurden Frakturen der BWS (BWK 1 bis BWK 10), des thorakolumbalen Übergangs (BWK 11 bis LWK 2) und der LWS (LWK 3 bis LWK 5) unterschieden und jeweils getrennt voneinander betrachtet. Hierbei zeigt sich ein gehäuftes Vorkommen von Frakturen (n = 56) im Bereich des thorakolumbalen Übergangs. Am Häufigsten war der 1. Lendenwirbelkörper betroffen (n = 30) gefolgt vom 12. Brustwirbelkörper (n = 15) (Tabelle 3).

3.3.2 Frakturklassifikation

Hinsichtlich der AO-Klassifikation zur Beurteilung der Frakturschwere entsprach die Mehrheit der Frakturen (n = 52, entspricht 59,1 %) der Gruppe der A3-Frakturen (inkompletter Berstungsbruch), 13 Frakturen (14,8 %) ließen sich der Gruppe der A4-Frakturen (kompletter Berstungsbruch) zuordnen, 9 Frakturen (10,2 %) der Gruppe der A1-Frakturen (Kompressionsfraktur) und 7 Frakturen (8,0 %) der Gruppe der A2-Frakturen (Spalt- oder Kneifzangenfraktur). Die übrigen 7 Frakturen verteilten sich nahezu gleichmäßig auf die Gruppen der B1-, B2- und C-Frakturen. Insgesamt fällt auf, dass am thorakolumbalen Übergang (BWK 11 bis LWK 2) nur Frakturen der Gruppe A diagnostiziert wurden. Alle schwerwiegenden Frakturen der Gruppe B und C befanden sich ausschließlich außerhalb des thorakolumbalen Übergangs (Tabelle 3).

Frakturlokalisation	AO-Klassifikation							Gesamt
	A1	A2	A3	A4	B1	B2	C	
BWS (BWK 1–BWK 10)	1	3	4	2	2	1	2	15
BWK 3	0	0	1	0	0	0	0	
BWK 4	0	0	0	0	1	0	0	
BWK 7	0	0	1	1	0	0	0	
BWK 8	0	0	1	1	0	1	1	
BWK 9	0	2	1	0	0	0	1	
BWK 10	1	1	0	0	1	0	0	
Thorakolumbaler Übergang (BWK 11–LWK 2)	6	3	38	9	0	0	0	56
BWK 11	1	0	2	0	0	0	0	
BWK 12	2	1	10	2	0	0	0	
LWK 1	3	2	18	7	0	0	0	
LWK 2	0	0	8	0	0	0	0	
LWS (LWK 3–LWK 5)	2	1	10	2	1	1	0	17
LWK 3	1	0	5	1	1	0	0	
LWK 4	1	1	4	0	0	1	0	
LWK 5	0	0	1	1	0	0	0	
Gesamt	9	7	52	13	3	2	2	88

Tabelle 3: AO-Klassifikation bezogen auf die Frakturlokalisation. BWS = Brustwirbelsäule, LWS = Lendenwirbelsäule

Der Schweregrad der Fraktur, gemäß der AO-Klassifikation, wurde ebenfalls hinsichtlich der Altersklassen sowie hinsichtlich des Unfallmechanismus ausgewertet.

Es ließ sich beobachten, dass die schwerwiegenden Frakturen der Gruppe B und C nach der AO-Klassifikation hauptsächlich bei jüngeren Patienten bis 49 Jahre auftraten. In der Altersklasse von 40 bis 49 Jahren zeigte sich bezogen auf die AO-Klassifikation eine gleichmäßige Verteilung mit Ausnahme der A4- und C-Frakturen, die bei keinem der Patienten in dieser Altersgruppe auftraten. In allen anderen Altersklassen fand sich eine inhomogenere Verteilung bezüglich der AO-Klassifikation (Tabelle 4).

Altersgruppen	AO-Klassifikation							Gesamt
	A1	A2	A3	A4	B1	B2	C	
0–19 Jahre	1	0	1	0	0	0	0	2
20–29 Jahre	1	0	1	0	0	0	2	4
30–39 Jahre	0	0	6	3	0	0	0	9
40–49 Jahre	3	2	2	0	1	2	0	10
50–59 Jahre	1	1	10	2	0	0	0	14
60–69 Jahre	1	1	9	5	1	0	0	17
70–79 Jahre	0	3	15	1	0	0	0	19
≥ 80 Jahre	2	0	8	2	1	0	0	13
Gesamt	9	7	52	13	3	2	2	88

Tabelle 4: AO-Klassifikation in Abhängigkeit von der Altersklasse

Hinsichtlich des zugrundeliegenden Unfallmechanismus zeigt sich eine ausgeglichene Verteilung der Frakturschweregrade (Tabelle 5).

Unfallmechanismus	AO-Klassifikation							Gesamt
	A1	A2	A3	A4	B1	B2	C	
Hochenergetisches Trauma	7	5	29	5	0	2	0	48
Verkehrsunfall	0	1	7	3	0	0	2	13
Niedrigenergetisches Trauma	2	1	13	5	3	0	0	24
Keine Angabe	0	0	3	0	0	0	0	3
Gesamt	9	7	52	13	3	2	2	88

Tabelle 5: AO-Klassifikation in Abhängigkeit vom Unfallmechanismus

3.4 Dorsale Instrumentierung

Zur operativen Stabilisierung der Wirbelkörperfrakturen wurden drei verschiedene Fixateur interne Systeme verwendet. Das System „Revolve[®]“ der Firma Globus Medical[®] (n = 63), das System „USS Universal Spine System[®]“ der Fa. Synthes[®] (n = 14) sowie einmalig das Fixateur interne System der Firma Deltacor[®] (n = 1). Insgesamt wurden 24 (entspricht 30,8 %) der implantierten Fixateur interne Systeme durch eine Zementaugmentation zusätzlich stabilisiert.

Bei den 78 operierten Patienten wurden insgesamt 176 Wirbelkörper instrumentiert. Am häufigsten wurden der 2. Lendenwirbelkörper (n = 35) und der 12. Brustwirbelkörper (n = 33) instrumentiert. Dabei lagen 110 der 176 instrumentierten Wirbelkörper im Bereich des

thorakolumbalen Übergangs zwischen dem 11. Brustwirbelkörper und dem 2. Lendenwirbelkörper.

Eine bisegmentale Stabilisierung des frakturierten Wirbelsäulenabschnittes erfolgte bei 66 Patienten, wohingegen 12 Patienten langstreckig operativ versorgt wurden. Eine monosegmentale Versorgung erfolgte bei keinem der Patienten.

3.4.1 Komplikationen

Intraoperativ kam es bei vier Patienten zu Komplikationen. So wurde bei jeweils einem Patienten eine unphysiologisch lange Nachblutung aus dem Operationsgebiet, eine Schraubenfehlage, welche intraoperativ korrigiert wurde, ein Zementparavasat und eine fehlgeschlagene Zementaugmentation dokumentiert.

Im weiteren postoperativen Verlauf wurden bei 21 Patienten Komplikationen beobachtet (Tabelle 6).

Postoperative Komplikationen	Häufigkeit	Häufigkeit in Prozent
Keine Komplikationen	57	73,1 %
Sonstige postoperative Komplikation ohne Bezug zum OP Gebiet	5	6,4 %
Zementparavasat	4	5,1 %
Schraubendislokation ohne neurologische Ausfälle	4	5,1 %
Wundheilungsstörung	2	2,6 %
Deckplatteneinbruch des instrumentierten Wirbelkörpers	2	2,6 %
Materialversagen	2	2,6 %
Periosteosynthetischer Infekt	1	1,3 %
Schraubendislokation mit neurologischen Ausfällen	1	1,3 %
Gesamt	78	100,0 %

Tabelle 6: Postoperative Komplikationen und deren Häufigkeiten

3.4.2 Entfernung des Osteosynthesematerials

Über den gesamten Beobachtungszeitraum wurde bei 20 (25,6 %) der 78 operierten Patienten eine Entfernung des eingebrachten Fixateur interne durchgeführt. Die Gründe für die Entfernung sind in Tabelle 7 dargestellt (Tabelle 7).

Grund der Metallentfernung	Häufigkeit	Häufigkeit in Prozent
Patienten ohne Metallentfernung	59	75,6 %
Ausreichende knöchernen Konsolidierung	8	10,3 %
Patientenwunsch	3	3,8 %
Infektion des Fixateur interne	2	2,6 %
Schraubenlockerung	2	2,6 %
Materialbruch	2	2,6 %
Wundheilungsstörung im OP Gebiet	1	1,3 %
Keine Angabe	1	1,3 %
Gesamt	78	100,0 %

Tabelle 7: Gründe für die Entfernung des Fixateur interne und deren Häufigkeiten

Bei dem Eingriff zur Entfernung des Fixateur interne traten in drei Fällen Komplikationen auf. In jeweils einem Fall kam es zu einer Wundheilungsstörung im postoperativen Verlauf sowie zu einer relevanten postoperativen Nachblutung. Zusätzlich kam es bei einem Patienten zu einem Zementparavasat im Rahmen einer gleichzeitig zur Implantatentfernung durchgeführten Kyphoplastie des ehemals frakturierten Wirbelkörpers.

3.4.3 Ventrale Spondylodese

Eine zweizeitig durchgeführte Spondylodese von ventral erfolgte bei 16 Patienten. Bei zwei weiteren Patienten lag zum Zeitpunkt der Datenerhebung eine Empfehlung zur Durchführung einer ventralen Spondylodese vor. Diese war aber noch nicht erfolgt.

In Folge dieses Eingriffes wurden bei fünf der 16 operierten Patienten im postoperativen Verlauf Komplikationen dokumentiert. Bei einem Patienten kam es im Verlauf zum Versagen des eingebrachten Materials, bei einem weiteren Patienten wurde ein Einbruch der Deckplatte des zuvor instrumentierten Wirbelkörpers beobachtet und bei drei Patienten kam es zu postoperativen Komplikationen ohne direkten Bezug zum OP Gebiet.

3.5 Repositionsergebnis

3.5.1 Präoperative kyphotische Fehlstellung

Das Ausmaß der unfallbedingten kyphotischen Fehlstellung durch die Wirbelkörperfraktur konnte bei insgesamt 76 Patienten anhand der angefertigten Röntgen-, CT- oder MRT Aufnahmen bestimmt werden. Bei 2 Patienten lagen keine Unfallaufnahmen zur Bestimmung der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung vor. Es wurden der Körperwinkel, der monosegmentale Grund-/Deckplattenwinkel (mGDW) und der bisegmentale Grund-/Deckplattenwinkel (bGDW) des von der Fraktur betroffenen Wirbelsäulenabschnittes erfasst.

Die durchschnittliche präoperative, frakturbedingte kyphotische Fehlstellung lag gemessen anhand des Körperwinkels bei $11,4 \pm 5,5^\circ$ (Median: $10,5^\circ$, Spannweite von 2 bis 26°), gemessen anhand des mGDW bei $13,0 \pm 6,1^\circ$ (Median: $13,5^\circ$, Spannweite von 1 bis 26°) und gemessen anhand des bGDW bei $14,5 \pm 9,9^\circ$ (Median: $11,5^\circ$, Spannweite von 1 bis 51°). Dabei war der Unterschied zwischen dem Körperwinkel und dem mGDW statistisch signifikant (Friedman-Test, $p < 0,05$), während der Körperwinkel und der bGDW sowie der mGDW und der bGDW keine statistisch signifikanten Unterschiede aufwiesen (Friedman-Test, $p > 0,05$).

Ebenfalls wurde die präoperative frakturbedingte kyphotische Fehlstellung in Bezug auf die Frakturlokalisation (BWS, thorakolumbaler Übergang und LWS) bestimmt. Auch hier wurden der Körperwinkel, der monosegmentale Grund-/Deckplattenwinkel (mGDW) und der bisegmentale Grund-/Deckplattenwinkel (bGDW) ausgewertet.

Der präoperative frakturbedingte Körperwinkel zeigte dabei im Bereich der BWS eine durchschnittliche kyphotische Fehlstellung von $9,8 \pm 4,3^\circ$ (Median: $10,0^\circ$, Spannweite von 2 bis 18°), am thorakolumbalen Übergang eine durchschnittliche kyphotische Fehlstellung von $12,5 \pm 5,7^\circ$ (Median: $12,0^\circ$, Spannweite von 3 bis 26°) und an der LWS eine durchschnittliche kyphotische Fehlstellung von $8,8 \pm 4,2^\circ$ (Median: $7,5^\circ$, Spannweite von 3 bis 17°).

Das Ausmaß der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung war, gemessen am Körperwinkel, am thorakolumbalen Übergang am höchsten und unterschied sich signifikant (Kruskal-Wallis-Test, $p < 0,05$) vom Ausmaß der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung an der LWS. Zwischen dem Ausmaß der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung an der BWS und am thorakolumbalen Übergang sowie zwischen der BWS und der LWS bestanden dagegen keine signifikanten Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test, $p > 0,05$) (Abb. 20).

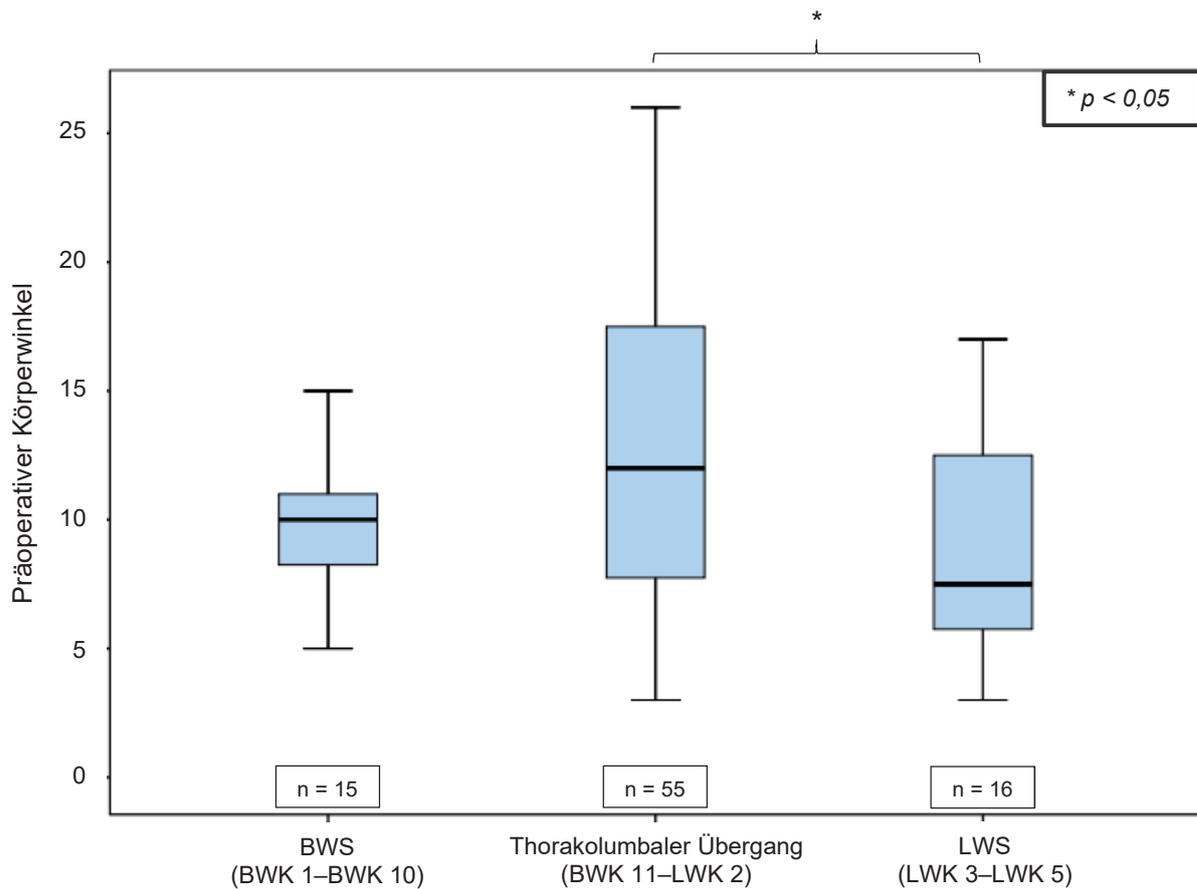


Abb. 20: Darstellung des präoperativen Körperwinkels in Abhängigkeit von der Frakturlokalisation. * = Signifikanter Unterschied

Das Ausmaß der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung gemessen mit dem mGDW zeigte folgende Werte: An der BWS betrug der mGDW $13,3 \pm 6,3^\circ$ (Median: $16,0^\circ$, Spannweite von 4 bis 21°), am thorakolumbalen Übergang $13,4 \pm 6,2^\circ$ (Median: $13,0^\circ$, Spannweite von 2 bis 26°) und an der LWS $10,7 \pm 5,7^\circ$ (Median: $12,8^\circ$, Spannweite von 1 bis 19°).

Die frakturbedingte kyphotische Fehlstellung an der BWS, am thorakolumbalen Übergang und an der LWS, gemessen am mGDW, unterschieden sich nicht signifikant (Kruskal-Wallis-Test, $p > 0,05$) voneinander (Abb. 21).

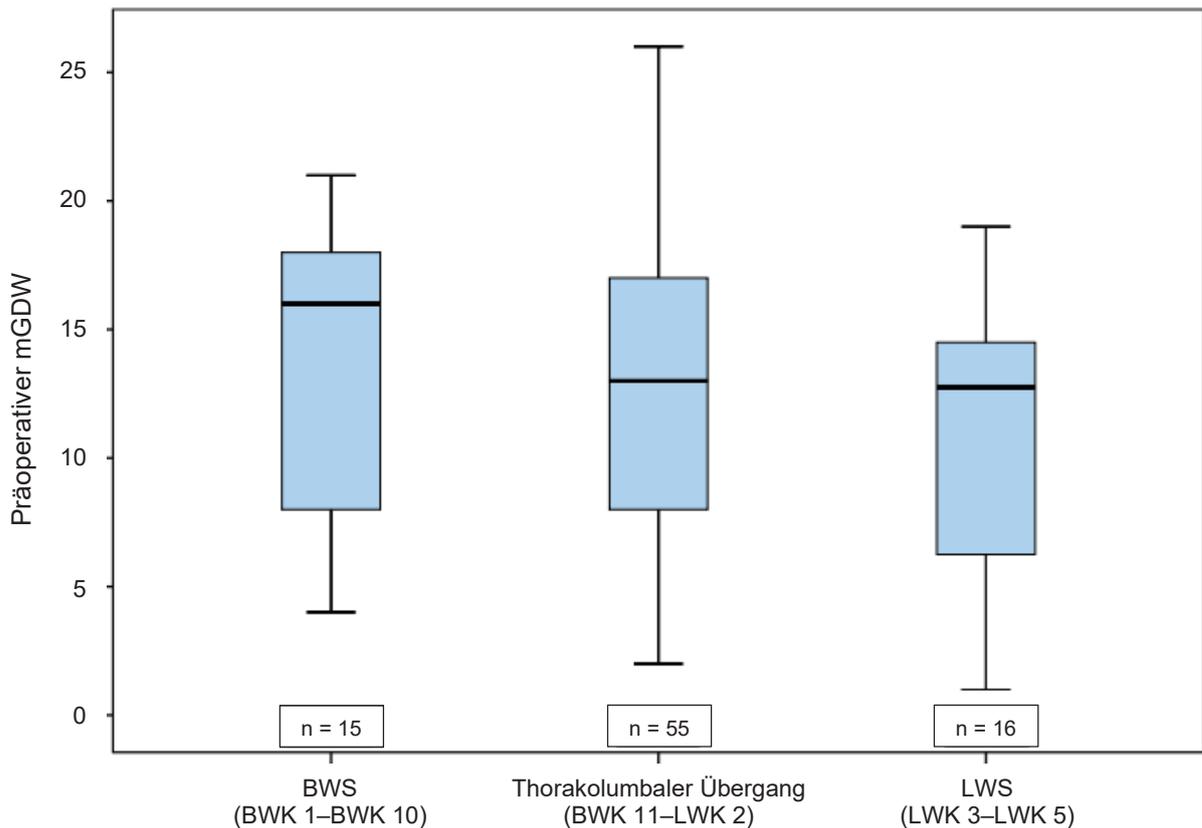


Abb. 21: Darstellung des präoperativen monosegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels in Abhängigkeit von der Frakturlokalisation

In Bezug auf den bGDW und die präoperativ gemessene, durchschnittliche, frakturbedingte kyphotische Fehlstellung zeigte sich an der BWS ein Wert von $17,3 \pm 7,2^\circ$ (Median: $18,0^\circ$, Spannweite von 1 bis 27°), am thorakolumbalen Übergang eine durchschnittliche frakturbedingte kyphotische Fehlstellung von $11,5 \pm 7,3^\circ$ (Median: $11,0^\circ$, Spannweite von 2 bis 32°) und an der LWS eine durchschnittliche frakturbedingte kyphotische Fehlstellung von $21,6 \pm 14,0^\circ$ (Median: $25,5^\circ$, Spannweite von 1 bis 51°).

Der Unterschied zwischen der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung am thorakolumbalen Übergang und an der BWS sowie der Unterschied zwischen dem thorakolumbalen Übergang und der LWS waren dabei signifikant (Kruskal-Wallis-Test, $p < 0,05$). Das Ausmaß der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung an der BWS und an der LWS wiesen dagegen keine signifikanten Unterschiede auf (Kruskal-Wallis-Test, $p > 0,05$) (Abb. 22).

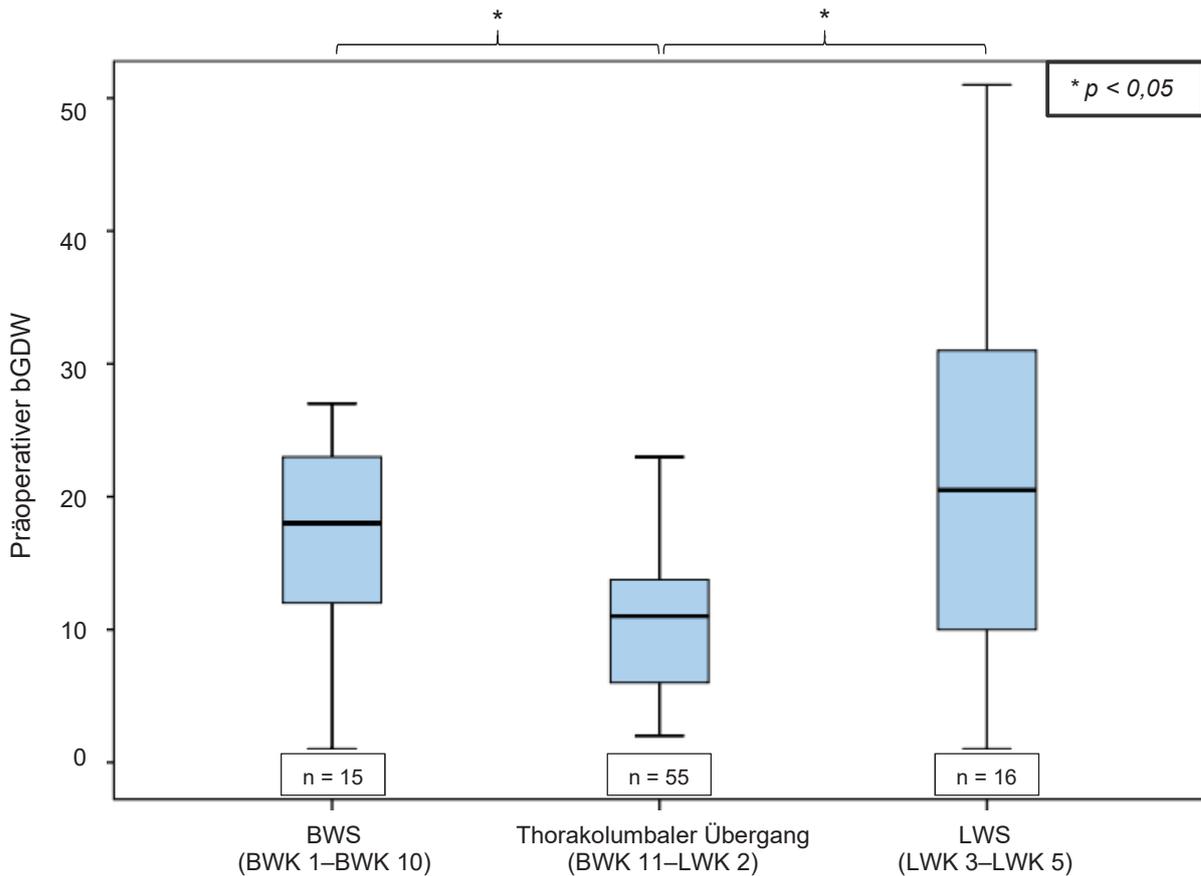


Abb. 22: Darstellung des präoperativen bisegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels in Abhängigkeit von der Frakturlokalisation. * = Signifikanter Unterschied

3.5.2 Postoperatives Repositionsergebnis

Nach der operativen Stabilisierung wurde, die nach Reposition der Wirbelkörperfraktur verbliebene, frakturbedingte kyphotische Fehlstellung bei allen 78 Patienten bestimmt. Über das gesamte Patientenkollektiv verteilt, lag der unmittelbar postoperative Körperwinkel bei $8,2 \pm 4,7^\circ$ (Median: $8,0^\circ$ Spannweite von 1 bis 25°) und konnte somit im Vergleich zum präoperativen Wert um $3,2 \pm 4,4^\circ$ (präoperativ $11,4 \pm 5,5^\circ$) verbessert werden. Der mittlere postoperative mGDW lag bei $9,9 \pm 5,8^\circ$ (Median: $9,8^\circ$, Spannweite von 1 bis 23°). Der mGDW und damit das Ausmaß der kyphotischen Fehlstellung des betroffenen Bewegungssegmentes konnte um $3,1 \pm 5,6^\circ$ im Vergleich zum präoperativ gemessenen Wert (präoperativ $13,0 \pm 6,1^\circ$) korrigiert werden. Der mittlere postoperative bGDW lag bei $12,5 \pm 9,7^\circ$ (Median: $10,0^\circ$; Spannweite von 2 bis 47°). Hier konnte eine Reduktion der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung des kranial und kaudal der Fraktur liegenden Bewegungssegmentes um $2,0 \pm 6,3^\circ$ (präoperativ $14,5 \pm 9,9^\circ$) erzielt werden. Es zeigte sich eine signifikante Reposition (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, $p < 0,05$) der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung durch die operative Therapie bezogen auf den Körperwinkel, den mGDW und den bGDW.

In Bezug auf die Frakturlokalisation wurden folgende Werte bestimmt: Der mittlere postoperative Körperwinkel lag an der BWS bei $8,6 \pm 4,6^\circ$ (Median: $9,0^\circ$, Spannweite von 2 bis 15°), am thorakolumbalen Übergang bei $9,1 \pm 5,1^\circ$ (Median: $8,5^\circ$, Spannweite von 1 bis 25°) und an der LWS bei $6,3 \pm 3,3^\circ$ (Median: $5,0^\circ$, Spannweite von 2 bis 12°). Somit konnte durch die operative Versorgung eine Reposition der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung um $1,2^\circ$ an der BWS, um $3,4^\circ$ am thorakolumbalen Übergang und um $2,5^\circ$ an der LWS erreicht werden.

Die Reposition der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung an der BWS zeigte keine statistische Signifikanz auf (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, $p > 0,05$). Die Reposition der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung am thorakolumbalen Übergang und an der LWS waren jedoch statistisch signifikant (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, $p < 0,05$) (Abb. 23).

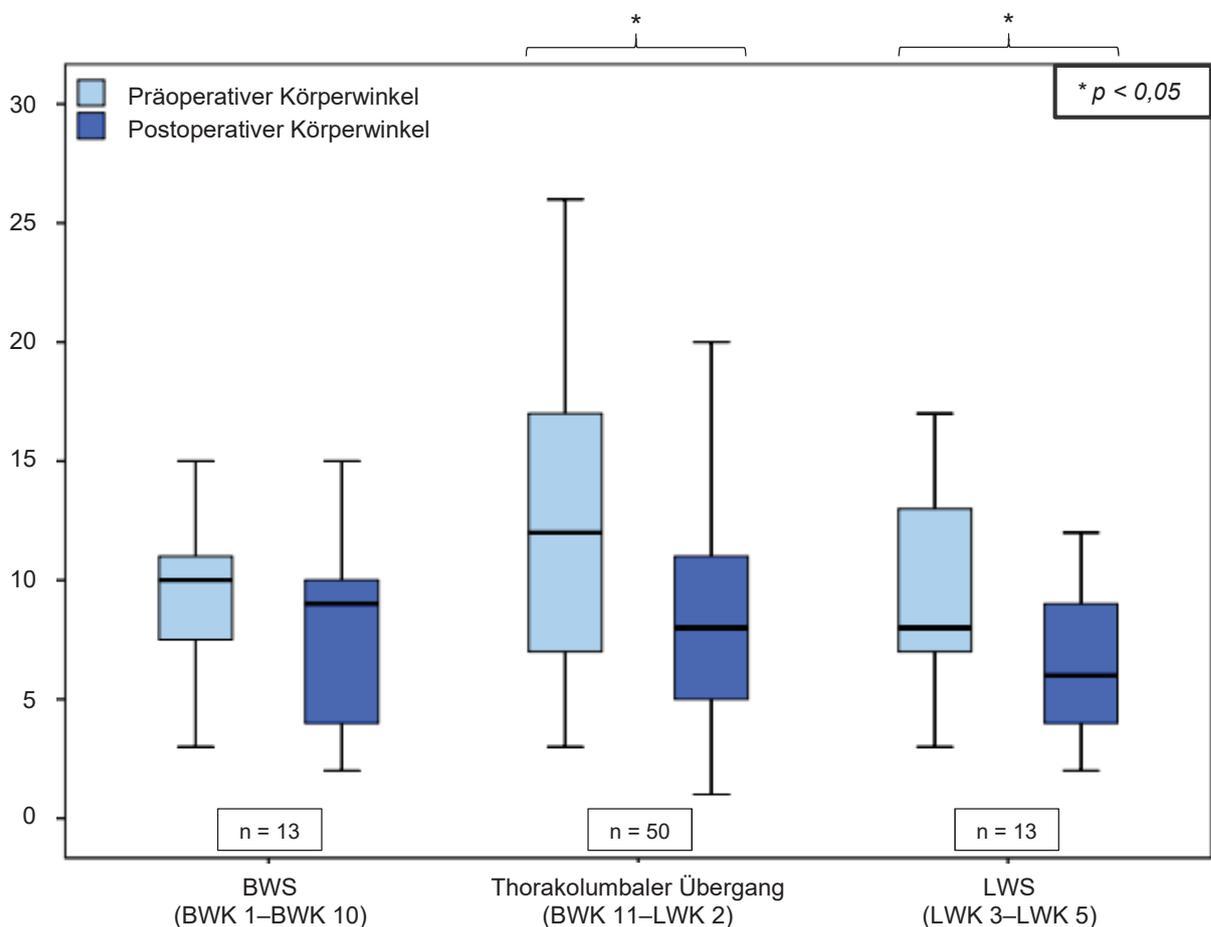


Abb. 23: Veränderung des Körperwinkels durch die operative Versorgung in Abhängigkeit von der Frakturlokalisation. * = Signifikanter Unterschied

Der mittlere postoperative mGDW lag an der BWS bei $11,4 \pm 5,7^\circ$ (Median: $11,0^\circ$, Spannweite von 3 bis 22°), am thorakolumbalen Übergang bei $9,4 \pm 5,7^\circ$ (Median: $9,0^\circ$, Spannweite von 2 bis 21°) und an der LWS bei $10,6 \pm 5,8^\circ$ (Median: $12,0^\circ$, Spannweite von 1 bis 23°). Der

mittlere mGDW konnte im Vergleich zum präoperativen Wert an der BWS um 1,8° und am thorakolumbalen Übergang um 4,0° verbessert werden. An der LWS blieb das Ausmaß der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung mit einer minimalen Reduktion von 0,1° nahezu unverändert.

Es ließ sich eine signifikante Reposition (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, $p < 0,05$) der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung am thorakolumbalen Übergang durch die operative Versorgung nachweisen. Die Reposition der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung an der BWS und an der LWS war statistisch nicht signifikant (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, $p > 0,05$) (Abb. 24).

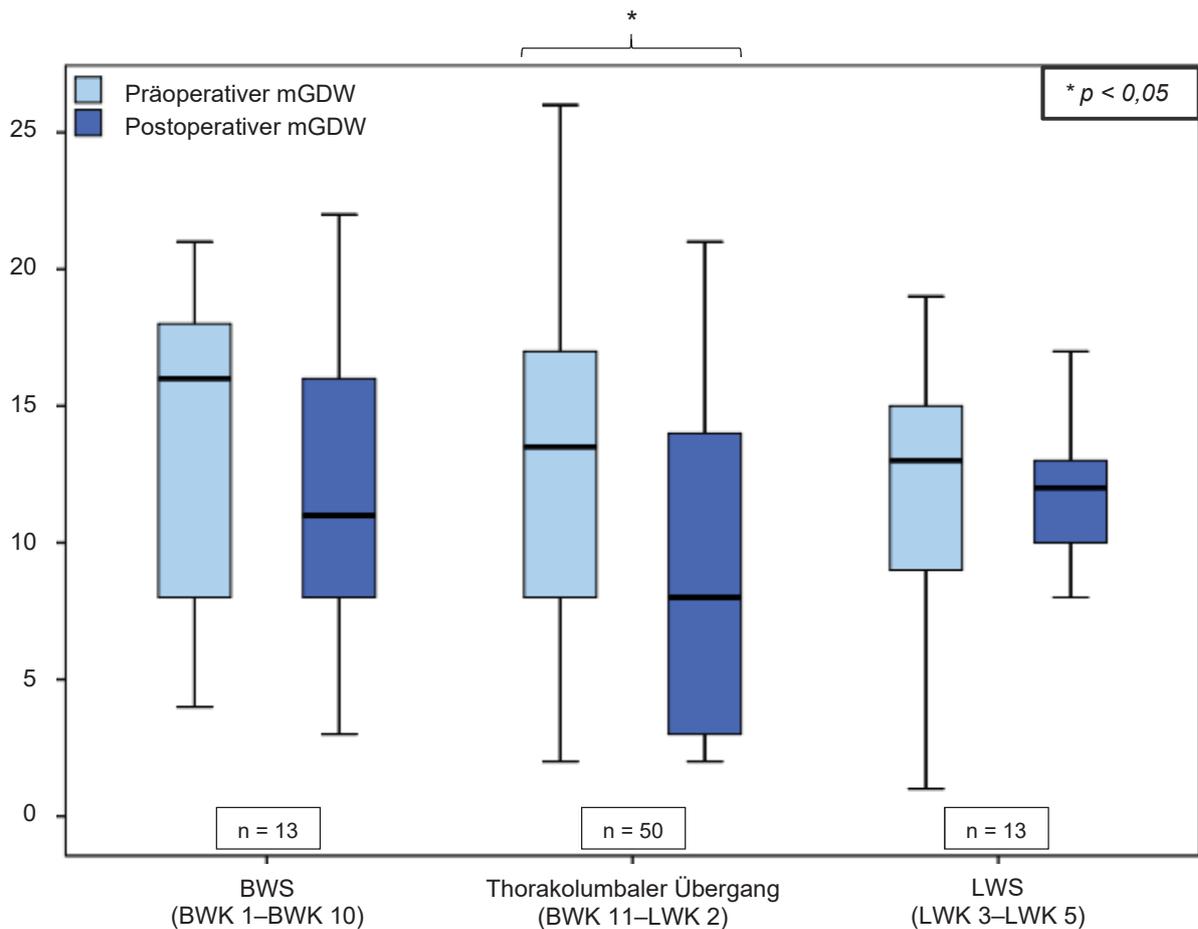


Abb. 24: Veränderung des monosegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels durch die operative Versorgung in Abhängigkeit von der Frakturlokalisation. * = Signifikanter Unterschied

Gemessen am bGDW zeigte sich an der BWS postoperativ eine mittlere kyphotische Fehlstellung von $14,4 \pm 6,4^\circ$ (Median: $14,0^\circ$, Spannweite von 6 bis 25°), am thorakolumbalen Übergang ein mittlerer Wert von $8,8 \pm 5,4^\circ$ (Median: $8,5^\circ$, Spannweite von 2 bis 19°) und an der LWS ein mittlerer Wert von $23,6 \pm 12,2^\circ$ (Median: $28,0^\circ$, Spannweite von 2 bis 47°). Die frakturbedingte kyphotische Fehlstellung konnte durch die operative Therapie, gemessen am

bGDW, im Bereich der BWS um 2,9° und am thorakolumbalen Übergang um 2,7° verbessert werden. Im Bereich der LWS konnte durch die Operation keine Reposition der kyphotischen Fehlstellung erreicht werden.

Insgesamt wurde eine signifikante (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, $p < 0,05$) Verbesserung der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung am thorakolumbalen Übergang beobachtet. Die Reposition der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung an der BWS und an der LWS waren statistisch nicht signifikant (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, $p > 0,05$) (Abb. 25).

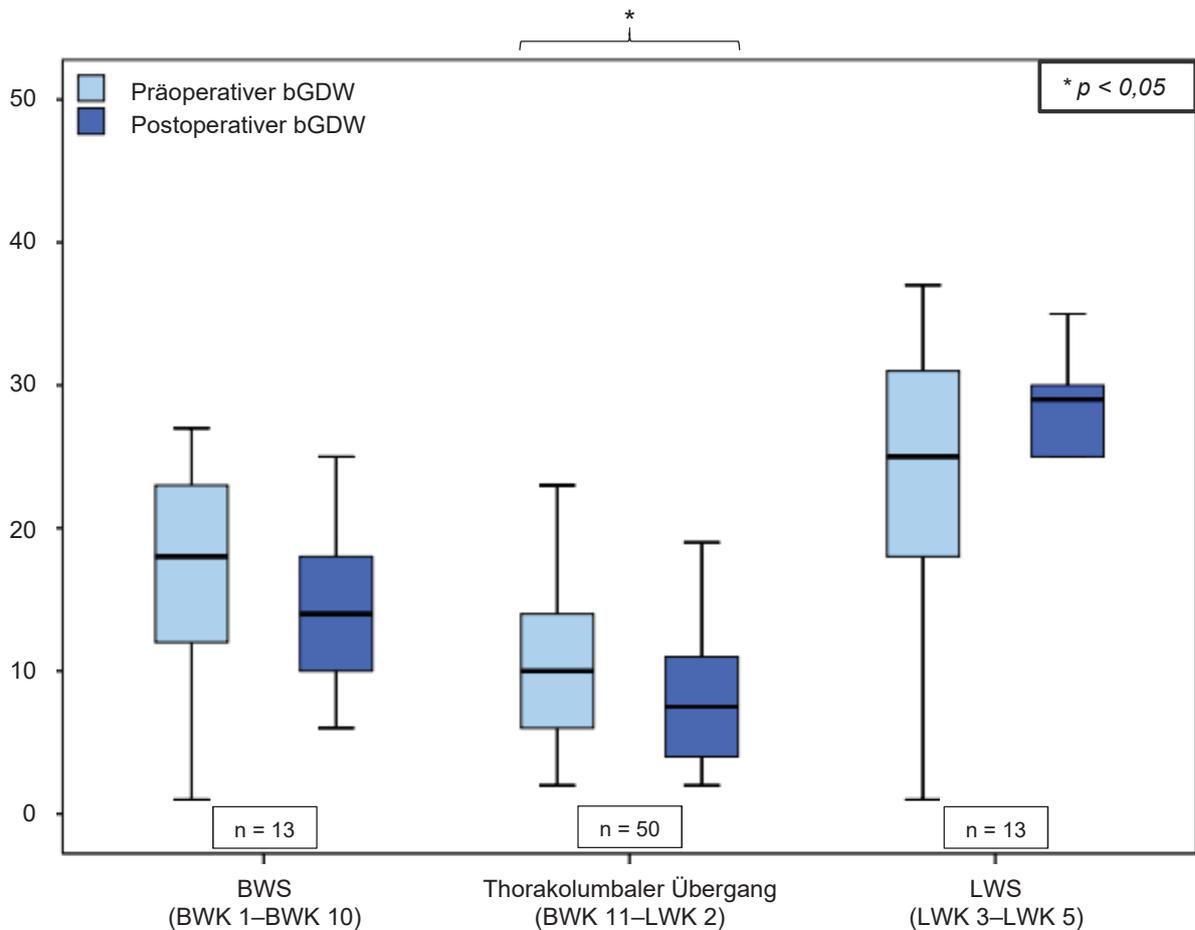


Abb. 25: Veränderung des bisegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels durch die operative Versorgung in Abhängigkeit von der Frakturlokalisation. * = Signifikanter Unterschied

3.5.3 Repositionsergebnis im Nachuntersuchungszeitraum

Im Rahmen der radiologischen Nachuntersuchung konnten Daten von insgesamt 49 der 78 Patienten erhoben werden. Die Nachuntersuchung fand im Durchschnitt nach $8,5 \pm 8$ Monaten (Median: 6,5 Monate, Spannweite von 1 Monat bis 39 Monate) statt.

Der Körperwinkel zeigte zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung einen mittleren Wert von $12,1 \pm 5,9^\circ$ (Median: $12,0^\circ$, Spannweite von 3 bis 30°). Somit bestand ein signifikanter Repositionsverlust (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, $p < 0,05$) von $4,5 \pm 5,8^\circ$ im Vergleich zum unmittelbar postoperativen Körperwinkel.

Vergleicht man den Körperwinkel am Ende des Nachuntersuchungszeitraumes mit dem Körperwinkel zum Unfallzeitpunkt zeigte sich ein nicht signifikanter Unterschied (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, $p > 0,05$) von $0,7^\circ$. Es bestand kein Unterschied zwischen der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung zum Unfallzeitpunkt und der kyphotischen Fehlstellung am Ende des Nachuntersuchungszeitraumes. Das durch die Operation erzielte Repositionsergebnis konnte somit nicht gehalten werden (Abb. 26).

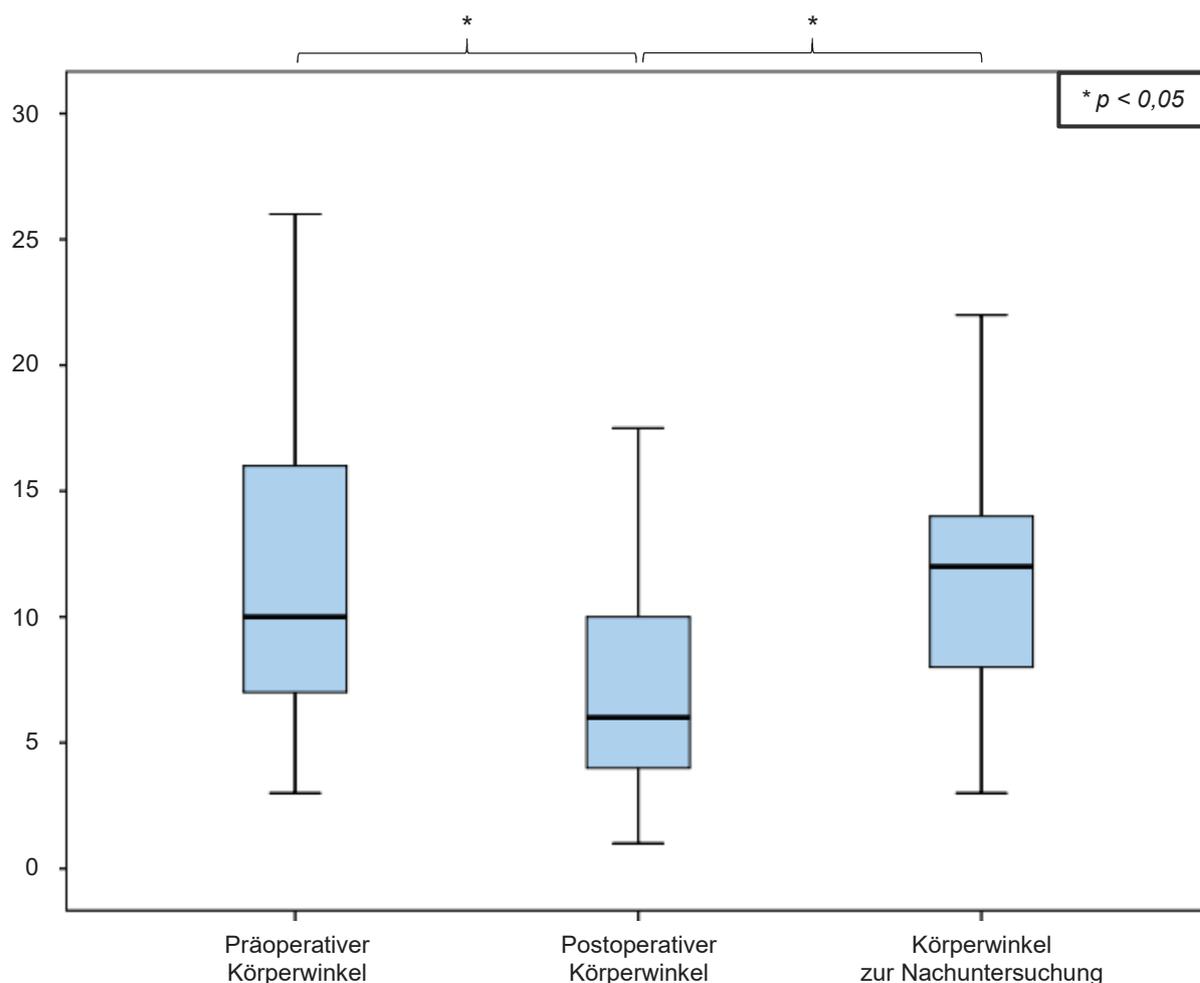


Abb. 26: Veränderung des Körperwinkels im zeitlichen Verlauf. n = 49, * = Signifikanter Unterschied

Der mittlere mGDW betrug zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung $13,8 \pm 6,8^\circ$ (Median: $14,0^\circ$, Spannweite von 2 bis 33°). Der Repositionsverlust seit der operativen Versorgung betrug durchschnittlich $4,7 \pm 6,3^\circ$ und war damit signifikant (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, $p < 0,05$).

Insgesamt bestand kein signifikanter Unterschied (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, $p > 0,05$) zwischen dem Ausmaß der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung zum Unfallzeitpunkt und dem Ausmaß zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung. Das durch die operative Therapie erzielte Repositionsergebnis kann somit im Nachuntersuchungszeitraum auch für den mGDW nicht gehalten werden (Abb. 27).

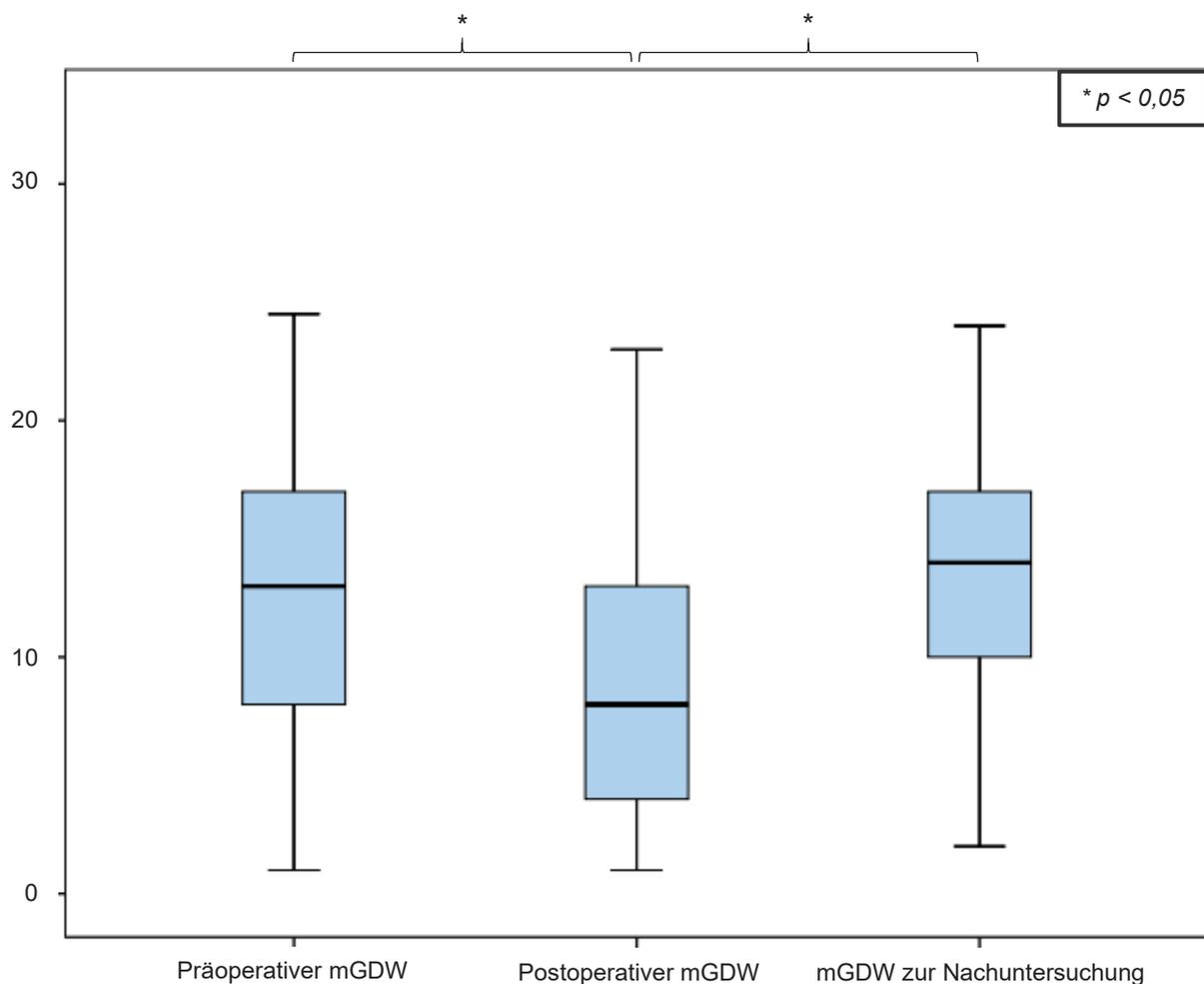


Abb. 27: Veränderung des monosegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels im zeitlichen Verlauf.
n = 49, * = Signifikanter Unterschied

Der mittlere bGDW lag zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bei $16,0 \pm 11,0^\circ$ (Median: $13,0^\circ$, Spannweite von 1 bis 45°). Es wurde im Vergleich zum unmittelbar postoperativen Wert ein signifikanter Repositionsverlust (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, $p < 0,05$) von $3,7 \pm 7,5^\circ$ erfasst.

Am Ende des Nachuntersuchungszeitraumes bestand kein signifikanter Unterschied (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, $p > 0,05$) zur frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung zum Unfallzeitpunkt. Analog zum Körperwinkel und zum mGDW konnte auch das Repositionsergebnis, gemessen am bGDW, über den Nachuntersuchungszeitraum nicht gehalten werden (Abb. 28).

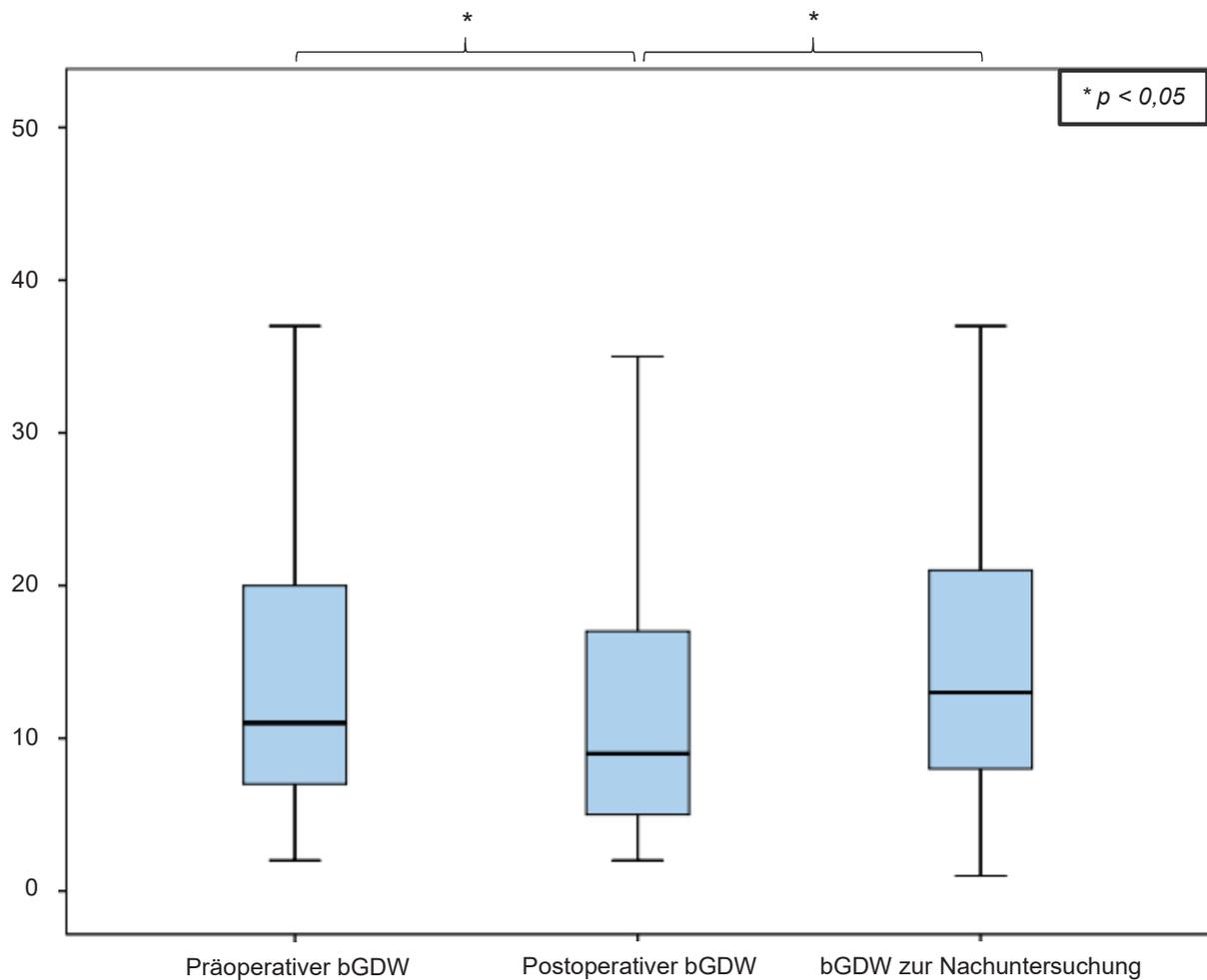


Abb. 28: Veränderung des bisegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels im zeitlichen Verlauf.
 n = 49, * = Signifikanter Unterschied

3.6 VAS-Wirbelsäulenscore

Im Rahmen der Nachuntersuchung haben 76 Patienten den VAS-Wirbelsäulenscore bearbeitet. Die Bearbeitung des Fragebogens durch den Patienten erfolgte nach durchschnittlich 18 ± 12 Monaten (Median: 13 Monate, Spannweite von 4 Monaten bis 48 Monate).

Über das gesamte Patientenkollektiv verteilt, konnte ein Durchschnittswert von 65 ± 23 Punkten (Median: 72 Punkte, Spannweite von 7 Punkten bis 98 Punkte) erreicht werden. Der durchschnittliche Punktwert der einzelnen Fragen kann Tabelle 8 entnommen werden (Tabelle 8).

Frage	Anzahl (n)	Statistik			
		Punktwert (\pm SD)	Median	Minimum	Maximum
Frage 1: "Wie oft stören Rückenschmerzen Ihren Schlaf?"	75	79 ± 27	90	0	100
Frage 2: "Wie oft haben Sie in körperlicher Ruhe Rückenschmerzen?"	74	77 ± 26	87	0	100
Frage 3: "Wie stark sind dann in körperlicher Ruhe die Rückenschmerzen?"	74	76 ± 24	82	3	100
Frage 4: "Wie oft haben Sie bei körperlicher Belastung Rückenschmerzen?"	73	51 ± 32	52	0	100
Frage 5: "Wie stark sind dann bei körperlicher Belastung die Rückenschmerzen?"	73	53 ± 29	54	0	100
Frage 6: "Wie oft nehmen Sie Schmerzmittel gegen Rückenschmerzen ein?"	76	76 ± 32	89	0	100
Frage 8: "Wie lange können Sie ohne Rückenbeschwerden sitzen?"	74	65 ± 29	73	0	100
Frage 9: "Wie stark schränken Rückenbeschwerden das Vorbeugen ein (wie z. B. beim Abwaschen)?"	73	66 ± 30	75	0	100

Frage 10: "Wie stark schränken Rückenbeschwerden Ihren Beruf ein?"	45	69 ± 34	85	0	100
Frage 11: "Wie stark schränken Rückenbeschwerden das Hochheben ein?"	71	54 ± 30	50	0	100
Frage 12: "Wie stark schränken Rückenbeschwerden Hausarbeiten ein?"	71	62 ± 28	36	1	100
Frage 13: "Wie lange können Sie ohne Rückenbeschwerden stehen?"	71	60 ± 28	61	3	100
Frage 14: "Wie lange können Sie ohne Rückenbeschwerden gehen?"	72	66 ± 29	75	4	100
Frage 15: "Wie stark schränken Rückenbeschwerden das Laufen ein (z. B. Jogging, Waldlauf etc.)?"	55	45 ± 34	50	0	100
Frage 16: "Wie stark schränken Rückenbeschwerden Aktivitäten des täglichen Lebens ein (z. B. Essen, Waschen etc.)?"	74	76 ± 28	89	0	100
Frage 17: "Wie stark schränken Rückenbeschwerden Aktivitäten des täglichen Lebens ein (z. B. Essen, Waschen etc.)?"	71	65 ± 32	78	0	100
Frage 18: "Wie stark schränken Rückenbeschwerden Ihr Sexualleben ein?"	45	71 ± 32	81	0	100
Frage 19: "Wie stark schränken Rückenbeschwerden das Tragen ein?"	71	53 ± 28	51	0	100

Tabelle 8: Übersicht über die durchschnittlich erreichten Punktwerte der einzelnen Fragen im VAS-Wirbelsäulenscore. Der Spalte „Punktwert (± SD)“ kann der mittlere Punktwert ± Standardabweichung aller Patienten entnommen werden, die diese Frage beantwortet haben. Je Frage kann ein Wert zwischen 0 und 100 erreicht werden. Der Spalte „Anzahl (n)“ kann die Anzahl derer Patienten entnommen werden, welche die jeweilige Frage beantwortet haben

Die Auswertung der Fragebögen erfolgte zusätzlich nach Altersklassen. Insgesamt ließ sich kein signifikanter (Kruskal-Wallis-Test, $p > 0,05$) Unterschied der Ergebnisse im VAS-Wirbelsäulenscore bezogen auf die einzelnen Altersklassen erkennen (Tabelle 9).

Altersklassen	Anzahl (n)	Statistik			
		Punktwert (\pm SD)	Median	Minimum	Maximum
0–19 Jahre	2	93 \pm 4	93	90	96
20–29 Jahre	3	77 \pm 18	83	57	91
30–39 Jahre	7	67 \pm 26	80	33	97
40–49 Jahre	7	57 \pm 24	69	25	83
50–59 Jahre	12	71 \pm 16	74	30	87
60–69 Jahre	16	62 \pm 26	57	7	98
70–79 Jahre	18	66 \pm 26	65	10	95
\geq 80 Jahre	11	58 \pm 22	62	12	84

Tabelle 9: Übersicht über die Ergebnisse des VAS-Wirbelsäulenscores in Abhängigkeit von der Altersklasse

Die Auswertung des VAS-Wirbelsäulenscore erfolgte zusätzlich in Bezug auf die AO-Klassifikation sowie die Frakturlokalisierung. Hinsichtlich der Frakturschwere ergab sich kein signifikanter Zusammenhang (Kruskal-Wallis-Test, $p > 0,05$) zwischen den durchschnittlich erreichten Punkten im VAS-Wirbelsäulenscore und der Frakturschwere (Tabelle 10).

AO-Klassifikation	Anzahl (n)	Statistik			
		Mittelwert (\pm SD)	Median	Minimum	Maximum
A-Frakturen	79	64 \pm 24	72	7	97
A1-Frakturen	8	62 \pm 30	73	25	96
A2-Frakturen	6	48 \pm 25	44	19	88
A3-Frakturen	52	68 \pm 22	73	10	97
A4-Frakturen	13	58 \pm 25	57	7	95
B-Frakturen	5	70 \pm 25	72	30	98
B1-Frakturen	3	80 \pm 16	72	69	98
B2-Frakturen	2	55 \pm 35	55	30	79
C-Frakturen	2	57 \pm 0	57	57	57

Tabelle 10: Übersicht über die Ergebnisse des VAS-Wirbelsäulenscores in Abhängigkeit von der Frakturschwere. SD = Standardabweichung

Die Ergebnisse des VAS-Wirbelsäulenscores, bezogen auf die Frakturlokalisierung, zeigten ebenfalls keinen signifikanten (Kruskal-Wallis-Test, $p > 0,05$) Zusammenhang zwischen dem erzielten Ergebnis und der Frakturlokalisierung (Tabelle 11).

Frakturlokalisierung	Anzahl (n)	Statistik			
		Mittelwert (\pm SD)	Median	Minimum	Maximum
BWS (BWK 1–BWK10)	14	68 \pm 24	69	30	98
BWK 3	1	54 \pm 0	54	54	54
BWK 4	1	72 \pm 0	72	72	72
BWK 7	2	67 \pm 37	67	41	93
BWK 8	4	65 \pm 28	68	30	95
BWK 9	3	58 \pm 29	57	30	87
BWK 10	3	86 \pm 19	96	65	98
Thorakolumbaler Übergang (BWK 11–LWK 2)	56	63 \pm 25	70	7	97
BWK 11	3	56 \pm 30	49	30	89
BWK 12	15	53 \pm 26	57	7	97
LWK 1	30	66 \pm 25	77	10	95
LWK 2	8	69 \pm 23	76	30	91
LWS (LWK 3–LWK 5)	16	68 \pm 16	75	33	85
LWK 3	8	72 \pm 18	80	33	85
LWK 4	6	64 \pm 15	69	44	79
LWK 5	2	65 \pm 23	65	48	81

Tabelle 11: Übersicht über die Ergebnisse des VAS-Wirbelsäulenscores in Abhängigkeit von der Frakturlokalisierung. SD = Standardabweichung

3.7 VAS-Wirbelsäulenscore und Repositionsergebnis

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Ergebnis im VAS-Wirbelsäulenscore und dem Repositionsergebnis zu bestimmen, wurden diese beiden Variablen auf eine Korrelation (Pearson-Korrelationskoeffizient) hin überprüft.

Es bestand keine signifikante Korrelation (Pearson-Korrelationskoeffizient, $p > 0,05$) zwischen dem Ergebnis im VAS-Wirbelsäulenscore und dem Ausmaß der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung zum Unfallzeitpunkt sowie zwischen dem Ergebnis des VAS-Wirbelsäulenscore und dem Repositionsergebnis zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung.

Betrachtet man den Zusammenhang zwischen dem Ergebnis im VAS-Wirbelsäulenscore und dem direkt postoperativ gemessenen Körperwinkel, also dem unmittelbaren postoperativen Repositionsergebnis, konnte eine schwach signifikante Korrelation (Pearson-Korrelationskoeffizient, $p < 0,05$) nachgewiesen werden. Dieser Zusammenhang bedeutet, je höher das Ergebnis im VAS-Wirbelsäulenscore, desto niedriger ist das Ausmaß der kyphotischen Fehlstellung bzw. desto besser ist das Repositionsergebnis. Betrachtet man dagegen den direkt postoperativ gemessenen mGDW und den direkt postoperativ gemessenen bGDW als Maß des unmittelbar postoperativen Repositionsergebnisses konnte keine signifikante Korrelation (Pearson-Korrelationskoeffizient, $p > 0,05$) festgestellt werden.

Zudem wurde das Repositionsergebnis für den gesamten Beobachtungszeitraum, also in der Zeit vom Unfallereignis bis zur Nachuntersuchung, mit dem Ergebnis im VAS-Wirbelsäulenscore verglichen. Weder für den Körperwinkel, noch für den mGDW oder den bGDW konnte eine signifikante Korrelation (Pearson-Korrelationskoeffizient, $p > 0,05$) zwischen dem Repositionsergebnis und dem Ergebnis im VAS-Wirbelsäulenscore nachgewiesen werden.

3.8 Zusammenfassung der Ergebnisse

Bei den 78 untersuchten Patienten mit einem Durchschnittsalter von 61 ± 17 Jahren (Median: 64 Jahre, Spannweite von 18 bis 86 Jahren) wurden insgesamt 88 Wirbelkörperfrakturen diagnostiziert. Die Mehrheit der Frakturen ($n = 52$, entspricht 59,1 %) entsprach dabei der Gruppe der A3-Frakturen (inkompletter Berstungsbruch).

Durch die operative Versorgung der Wirbelkörperfrakturen mittels minimalinvasiver dorsaler Instrumentierung konnte die unfallbedingte kyphotische Fehlstellung gemessen am Körperwinkel, am monosegmentalen Grund-/Deckplattenwinkel und am bisegmentalen Grund-/Deckplattenwinkel zunächst signifikant reduziert werden.

Über den gesamten postoperativen Verlauf hinweg kam es aber zu einem sukzessiven sekundären Repositionsverlust in allen drei gemessenen radiologischen Verlaufsparemtern der frakturierten Wirbelsäule (Körperwinkel, mono- und bisegmentaler Grund-/Deckplattenwinkel). Am Ende des Beobachtungszeitraumes zeigte sich in allen drei gemessenen radiologischen Verlaufsparemtern ein signifikanter Repositionsverlust im Vergleich zu den unmittelbar postoperativ erzielten Repositionsergebnissen. Somit konnte das durch die operative Versorgung erreichte Repositionsergebnis mit dem minimalinvasiven Fixateur interne nicht gehalten werden. Das Ausmaß der kyphotischen Fehlstellung am Ende des Beobachtungszeitraumes entsprach nahezu der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung zum Zeitpunkt des Unfalles und zeigte keinen signifikanten Unterschied mehr.

Zusätzlich wurden die Patienten anhand des VAS-Wirbelsäulenscore nach dem von Ihnen subjektiv empfundenen Therapieerfolg befragt. Das durchschnittliche Ergebnis der Patienten im VAS-Wirbelsäulenscore lag bei 65 ± 23 Punkten (Median: 72 Punkte, Spannweite von 7 Punkten bis 98 Punkte) von 100 möglichen Punkten. Die Ergebnisse des VAS-Wirbelsäulenscore aller Patienten wurden hinsichtlich verschiedener Faktoren ausgewertet. Hier zeigte sich statistisch kein Zusammenhang zwischen dem erzielten Ergebnis im VAS-Wirbelsäulenscore und dem Patientenalter, der Frakturlokalisation oder der Frakturschwere. Ebenfalls bestand keine statistische Korrelation zwischen dem Ergebnis im VAS-Wirbelsäulenscore und dem unmittelbar postoperativ erreichten Repositionsergebnis als auch dem Ausmaß des sekundären Repositionsverlustes.

4 Diskussion

Bei Frakturen der Wirbelsäule und insbesondere bei Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule ohne neurologisches Defizit stellt sich häufig die Frage nach dem am besten geeigneten Therapieverfahren zur Wiederherstellung der Stabilität (2–6). Nach einer ausführlichen Diagnostik und dem Ausschluss eines neurologischen Defizites stehen verschiedene therapeutische Optionen zur Verfügung. Ein allgemein und international anerkannter Algorithmus zur Festlegung des am besten geeigneten Therapieverfahrens liegt bis dato nicht vor (3, 5). Jedoch orientieren sich immer mehr Kliniken zur Wahl der Vorgehensweise an der modifizierten AO-Klassifikation von Vaccaro et al. (35) und den daraus abgeleiteten Therapieempfehlungen (8, 67).

Konservative Therapieverfahren stellen die Therapie der Wahl für stabile Frakturen der Wirbelsäule dar und werden von einigen Autoren gegenüber einer operativen Versorgung klar bevorzugt (68, 69). Welcher Frakturtyp einer Wirbelkörperfraktur operativ versorgt werden sollte ist dennoch weitestgehend unklar (3, 6). In jedem Fall gilt es die individuellen Voraussetzungen und Ansprüche des Patienten zu überprüfen und anhand dieser ein geeignetes therapeutisches Verfahren zu wählen. Auch gilt zu beachten, dass eine konservative Therapie mit steigendem Lebensalter die erhöhte Gefahr einer Immobilität und den daraus resultierenden Komplikationen mit sich bringt (25). Daher wird bei entsprechenden Grundvoraussetzungen des Patienten immer häufiger eine minimalinvasive operative Versorgung gerade auch für ältere Patienten empfohlen (10).

Unabhängig von der Wahl des Therapieverfahrens ist das Ausmaß des sekundären Repositionsverlustes nach operativer Stabilisierung von thorakalen und lumbalen Wirbelkörperfrakturen Gegenstand kontroverser wissenschaftlicher Diskussionen (2, 5). Offensichtlich ist, dass das minimalinvasive Verfahren zur Stabilisierung der frakturierten Wirbelsäule aufgrund des deutlich geringeren Blutverlustes, einem nur minimalen Gewebetrauma und der kürzeren Hospitalisationsdauer gegenüber dem offen chirurgischen Verfahren klar bevorzugt wird (7, 10, 11, 13, 14, 70).

Des Weiteren besteht Uneinigkeit hinsichtlich der alleinigen Versorgung von dorsal gegenüber dem kombinierten dorsoventralen oder einem rein ventralen Vorgehen (6). Auch gibt es bislang keine aussagekräftigen Erkenntnisse darüber, ob eine minimalinvasive Stabilisierung von dorsal einen relevanten Mehrwert hinsichtlich des sekundären Repositionsverlustes im Vergleich zu einem konservativen Vorgehen aufweist (2, 69, 70).

Unter den minimalinvasiven Therapieoptionen haben sich polyaxiale Pedikelschraubensysteme zur dorsalen Stabilisierung aufgrund der leichten Instrumentierung durch den frei beweglichen Schraubenkopf auf der Schraubenstange gegenüber rigiden

Systemen mit monoaxialen Schrauben bewährt (6, 12). Jedoch haftet dem polyaxialen Schraubensystem der Makel an, im postoperativen Verlauf das erreichte Repositionsergebnis nicht halten zu können und dadurch kein zufriedenstellendes Langzeitergebnis zu erzielen (5, 6, 8, 12, 15–17, 60, 71).

Das Auftreten von Wirbelkörperfrakturen an der thorakalen und lumbalen Wirbelsäule sowie am thorakolumbalen Übergang ist entweder Folge eines hochenergetischen Traumas, z. B. von Verkehrsunfällen, oder Folge eines niedrigenergetischen Traumas. Insbesondere die männliche Generation jüngerer Alters verunfallt eher in Folge eines hochenergetischen Traumas, während bei älteren Patienten aufgrund einer vorbestehenden Osteoporose Frakturen vielmehr Folge eines niedrigenergetischen Traumas sind. (4, 6, 7, 10, 25, 72)

Diese Erkenntnisse spiegeln sich auch in den Ergebnissen unserer Studie wider. Knapp die Hälfte, nämlich 51,3 % der von uns untersuchten Patienten verunfallte in Folge eines hochenergetischen Traumas. Der Altersdurchschnitt dieser Patienten betrug 57 ± 18 Jahre. Die Geschlechterverteilung lag bei 22 Männern und 19 Frauen. In Folge eines Verkehrsunfalls verunfallten 14,1 % der Patienten. Der Altersdurchschnitt lag in dieser Gruppe bei 54 ± 18 Jahren und es waren 6 Männer und 5 Frauen betroffen. Ein niedrigenergetisches Trauma erlitten 30,8 % der Patienten. Der Altersdurchschnitt lag hier bei 69 ± 12 Jahren und betroffen waren 12 Männer und 11 Frauen. Entgegen der Literaturangaben lag in allen Gruppen unserer Studie eine nahezu ausgeglichene Geschlechterverteilung vor.

Hinsichtlich des Patientenalters fällt auf, dass das allgemeine Durchschnittsalter unseres Patientenkollektives mit 61 ± 17 Jahren deutlich höher liegt als in der vergleichbaren Literatur (4, 5, 14, 17, 55, 62, 68). Grund dafür sind die abweichenden Einschlusskriterien. Während in unserer Studie keine Altersobergrenze gezogen wurde, definierten andere Autoren eine Altersspanne von 18 bis maximal 65 Jahre als Einschlusskriterium, um hier bewusst osteoporotische Frakturen des höheren Alters auszuschließen (2, 55, 62). Lediglich das Patientenkollektiv der Studie von Wood et al. (69) wies mit 62 Jahren in der „Operative Group“ und 62,5 Jahren in der „Nonoperative Group“ ähnliche Werte zu dem von uns untersuchten Patientenkollektiv auf. Ebenso zeigte sich in unserer Studie eine Zunahme der Wirbelkörperfrakturen mit steigendem Lebensalter. Diese Beobachtung korreliert mit den Feststellungen von Ensrud und Schousboe (73). Die Autoren erkannten, dass die Inzidenz einer Wirbelkörperfraktur mit steigendem Alter zunimmt. Außerdem konnte von den Autoren gezeigt werden, dass die Prävalenz einer Wirbelkörperfraktur für Frauen zwischen dem 50. und dem 59. Lebensjahr 5 bis 10 % beträgt und bis zum 80. Lebensjahr auf über 30 % ansteigt.

So war bei 8 unserer Patienten bereits präoperativ eine Osteoporose bekannt und bei 6 Patienten lag zum Zeitpunkt des Unfalls bereits eine knöchern konsolidierte Wirbelkörperfraktur vor. Das Vorliegen einer Osteoporose sowie eine zum Unfallzeitpunkt vorbestehende Wirbelkörperfraktur steigern nach Lunt et al. (74) sowie nach Josten et al. (25) das Risiko eine erneute Wirbelkörperfraktur zu erleiden. Die Tatsache, dass 10 unserer Patienten im internistischen Sinne als multimorbide eingestuft wurden, lässt sich nach der Studie von Ensrud und Schousboe (73) als weiterer Risikofaktor für eine Wirbelkörperfraktur verstehen.

Anhand dieser Erkenntnisse und dem Vorerkrankungsprofil der von uns untersuchten Patienten ist davon auszugehen, dass es sich bei den 30,8 % der Patienten unserer Studie mit niedrigenergetischem Trauma um osteoporotische Wirbelkörperfrakturen handelte, auch wenn nicht bei jedem Patienten zum Unfallzeitpunkt eine Osteoporose bekannt war.

Die Wirbelkörperfraktur des älteren Patienten gilt dabei als Indikatorfraktur für eine Osteoporose und sollte bei vorhandener Stabilität des frakturierten Wirbelsäulenabschnittes, wie alle anderen Wirbelkörperfrakturen, zunächst konservativ behandelt werden. Ziel dabei ist es Schmerzen zu minimieren und eine rasche Mobilisation zu ermöglichen. (25, 73)

Bei persistierenden Beschwerden oder im Falle einer Nachsinterung ist ein minimalinvasives Vorgehen mittels Kyphoplastie bzw. Vertebroplastie indiziert. Instabile Frakturen bedürfen aber unabhängig von einer vorbestehenden degenerativen Veränderung oder dem Vorliegen einer Osteoporose der operativen Versorgung (25). Das wichtigste Therapieziel bei der operativen Versorgung der frakturierten und degenerativ veränderten Wirbelsäule bildet die Vermeidung einer verbleibenden kyphotischen Fehlstellung. So zeigten Lunt et al. (74) im Rahmen der „European Prospective Osteoporosis Study“, dass eine verbleibende kyphotische Fehlstellung nach stattgehabter Wirbelkörperfraktur das Risiko eine erneute Wirbelkörperfraktur zu erleiden deutlich steigert. Aus diesem Grund erfolgt auch bei älteren Patienten häufig eine operative Stabilisierung der frakturierten Wirbelsäule. So empfehlen Josten et al. (25) die minimalinvasive dorsale Stabilisierung mit Pedikelschrauben bereits ab einer primären bisegmentalen Kyphosierung von über 15 bis 20° oder ab einer Zunahme des bisegmentalen Kyphosewinkels um 5° innerhalb einer Woche nach Mobilisation.

Da sich die Indikation zur operativen Versorgung der Patienten mit einer osteoporotischen Wirbelkörperfraktur, sowie die anschließende Durchführung der minimalinvasiven dorsalen Stabilisierung mit polyaxialen Pedikelschrauben nicht von der anderer Patienten ohne Osteoporose unterscheidet, erfolgte auch keine Anpassung der oberen Altersgrenze im Rahmen der von uns gewählten Einschlusskriterien.

Unabhängig vom Altersdurchschnitt der Patienten oder dem der Fraktur zugrundeliegenden Unfallmechanismus ist die Tatsache, dass sich ein Großteil der Frakturen der Wirbelsäule auf den thorakolumbalen Übergang beschränkt (4, 7, 10, 18). Die von uns untersuchten Frakturen erstreckten sich vom 3. Brustwirbelkörper bis zum 5. Lendenwirbelkörper. Insgesamt lagen 63,6 % der Frakturen im Bereich des thorakolumbalen Übergangs (BWK 11–LWK 2), wobei der 1. Lendenwirbelkörper mit 34,1 % am häufigsten frakturiert war, gefolgt vom 12. Brustwirbelkörper mit 17,0 %. Die restliche Lendenwirbelsäule war in 19,3 % aller Fälle von einer Fraktur betroffen und die restliche Brustwirbelsäule in 17,0 % aller Fälle. Damit ist die Verteilung der Frakturlokalisation vergleichbar mit den Ergebnissen von Reinhold et al. (4), die im Rahmen der Multicenterstudie II der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie insgesamt 865 Patienten untersuchten. In dieser Studie war in 68,8 % der Fälle der thorakolumbale Übergang betroffen, gefolgt von der Brustwirbelsäule mit 18,3 % und der Lendenwirbelsäule mit 12,9 %. Am häufigsten war der 1. Lendenwirbelkörper frakturiert, gefolgt vom 12. Brustwirbelkörper. Vergleicht man die Frakturlokalisation in unserer Studie mit weiteren Studien (2, 5, 11, 14, 17, 55, 68–70, 75) können die von uns erhobenen Ergebnisse hinsichtlich der Frakturlokalisation als repräsentativ eingestuft werden.

Neben der Lokalisation der Fraktur spielt die Frakturklassifikation in Bezug auf die Wahl des geeigneten Therapieverfahrens eine besondere Rolle. Im klinischen Alltag werden Frakturen der Wirbelsäule nach der AO-Klassifikation eingeteilt, welche im Jahr 2013 durch Vaccaro et al. (35) modifiziert und durch den Wegfall der morphologischen Subtypen stark vereinfacht wurde. Demnach werden Frakturen der Wirbelsäule in Kompressionsfrakturen (Typ A-Fraktur), Distractionsverletzungen mit Zerreißen der ossären und ligamentären Wirbelkörperstrukturen (Typ B-Fraktur) oder Translationsverletzungen mit Beteiligung aller drei Säulen (Typ C-Fraktur) eingeteilt. Die vom Autor eigens ermittelte Interbeobachter Reliabilität liegt bei dieser Klassifikation bei $\kappa = 0,64$ und lässt sich anhand des Grading-Systems von Landis und Koch (76) als hohe Übereinstimmung beschreiben. Die Intraobserver Reliabilität liegt mit $\kappa = 0,77$ etwas höher und lässt sich ebenfalls als hohe Übereinstimmung beschreiben. Jedoch fehlt es bislang an unabhängigen Reliabilitäts-Studien um die eindeutige Überlegenheit dieses Klassifikationssystems heraus zu arbeiten (77).

Bei den meisten der von uns untersuchten Frakturen (92,0 %) lag eine Typ A-Fraktur nach der AO-Klassifikation vor. Davon wiederum war der inkomplette Berstungsbruch (A3-Fraktur) mit 59,1 %, gefolgt vom kompletten Berstungsbruch (A4-Fraktur) mit 14,8 %, am häufigsten vertreten. Bei 5,7 % der von uns untersuchten Frakturen handelte es sich um eine Typ B-Fraktur und in nur 2,3 % der Fälle lag eine Typ C-Fraktur vor. In Bezug auf die Frakturlokalisation zeigten unsere Ergebnisse, dass die schwerwiegenden Frakturen ausschließlich außerhalb des thorakolumbalen Übergangs auftraten. Ein signifikanter

Zusammenhang zwischen dem Alter der Patienten und der Frakturklassifikation sowie zwischen dem Unfallmechanismus und der Frakturklassifikation konnte nicht aufgezeigt werden. Dies mag vor allem daran liegen, dass die schwerwiegenden Frakturen der B- und C-Gruppe mit insgesamt 8,0 % im Gegensatz zu den Frakturen der A-Gruppe mit insgesamt 92,0 % in unserer Untersuchung nur vereinzelt vorkamen und somit keinen statistisch auswertbaren Anteil am Gesamtkollektiv darstellten.

Eine ähnliche Verteilung der Frakturklassifikation zeigten Panteliadis et al. (5) in ihrer retrospektiven Studie. Es wurden die radiologischen Ergebnisse von 55 Patienten erfasst, welche eine dorsale Stabilisierung der frakturierten Wirbelsäule erhielten. In Bezug auf die Frakturklassifikation lagen analog zu den Ergebnissen unserer Studie am häufigsten (92,6 %) Typ A-Frakturen vor. 47,3 % dieser Frakturen waren A3-Frakturen und 30,9 % waren A4-Frakturen. Damit lag der Anteil der A4-Frakturen etwas über dem von uns erfassten Anteil der A4-Frakturen von 14,8 %. Nahezu identisch mit unseren Ergebnissen zeigte sich hingegen die Verteilung der Typ B- und C-Frakturen welche nur 5,4 % bzw. 1,8 % aller Frakturen ausmachten.

Auch Reinhold et al. (4) erfassten in ihrer Multicenterstudie II hauptsächlich Typ A-Frakturen (63,3 %). Frakturen vom B-Typ machten 20,9 % und Frakturen vom C-Typ machten 15,7 % aller Frakturen aus. Die Frakturen wurden in dieser Studie noch nach der alten Klassifikation von Magerl et al. (36) eingeteilt. Das etwas häufigere Vorkommen von schwerwiegenderen Frakturen der B- und C-Gruppe (36,6 % vs. 8,0 %) im Vergleich zu unseren Ergebnissen könnte zum einen mit der deutlich höheren Anzahl an untersuchten Patienten (n = 865) zusammenhängen. Zum anderen lag bei 33,0 % aller Patienten zum Unfallzeitpunkt ein neurologisches Defizit vor, welches häufig mit einer schwereren Fraktur vom B- oder C-Typ einhergeht. Da in unserer Studie nur Patienten ohne neurologisches Defizit untersucht wurden, liegt die von uns ermittelte Rate an Typ B- und C-Frakturen mit 8,0 % daher deutlich niedriger. Im Allgemeinen entspricht die prozentuale Verteilung der Frakturklassifikation von Reinhold et al. (4) am Ehesten dem allgemeinen Verteilungsmuster von Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule, unabhängig vom Vorliegen eines neurologischen Defizites.

Im Rahmen der von uns durchgeführten Studie wurden alle Patienten minimalinvasiv von dorsal und mittels polyaxialer Pedikelschrauben zur Stabilisierung der frakturierten Wirbelsäule operativ versorgt. Bei 24 der 78 operierten Patienten wurden die implantierten Schrauben durch eine Zementaugmentation zusätzlich stabilisiert. Spiegl et al. (17) und weitere Autoren (23, 53) empfehlen grundsätzlich eine Zementaugmentation ab dem 60. Lebensjahr bzw. eine Zementaugmentation des osteoporotischen Knochens. Der Altersdurchschnitt unserer Patienten, welche eine Zementaugmentation erhielten, lag bei 76 ± 7 Jahren im Vergleich zum Altersdurchschnitt von 53 ± 16 Jahren derer Patienten, welche

keine Zementaugmentation erhielten. Aufgrund des deutlichen Altersunterschiedes zwischen den beiden Gruppen kann davon ausgegangen werden, dass eine Zementaugmentation in unserer Studie ausschließlich bei all jenen Patienten mit einer bekannten Osteoporose oder der Verdachtsdiagnose einer Osteoporose erfolgte.

Die bisegmentale operative Stabilisierung der Wirbelsäule, also die Platzierung der Pedikelschrauben in den jeweils kranial und kaudal der Fraktur gelegenen Wirbelkörper, erfolgte bei 66 der 78 Patienten. Bei 12 Patienten fand eine langstreckige dorsale Stabilisierung statt. Die bisegmentale Instrumentierung der frakturierten Wirbelsäule ist dabei die am häufigsten vorkommende Art der operativen Stabilisierung (2, 5).

Eine Entfernung des implantierten Fixateur interne erfolgte bei 20 (25,6 %) der von uns operierten Patienten, wobei zwei dieser 20 Patienten anschließend eine operative Versorgung der Fraktur von ventral erhielten. Die Gründe für die Implantatentfernung waren verschieden. In den meisten Fällen erfolgte diese aber aufgrund einer ausreichenden knöchernen Konsolidierung der Fraktur. Dabei sind die Meinungen zur Notwendigkeit einer Fixateur interne Entfernung nach knöcherner Konsolidierung einer Wirbelkörperfraktur sehr unterschiedlich. Für eine Metallentfernung sprechen die Gefahr von Mikrobewegungen und Metallabrieb des implantierten Schrauben-Stab-Systems. Dies kann zu einem Implantatversagen, Infektionen, allergischen Reaktionen oder osteopenen Veränderungen der Knochenstruktur führen. Andererseits kann der verbleibende Fixateur interne die Stabilität des zuvor frakturierten Wirbelsäulenabschnittes erhöhen und den auf das betroffene Bewegungssegment einwirkenden Stress minimieren. (78)

Während bei Siebenga et al. (2) und Scholz et al. (62) eine Implantatentfernung zu einem festgelegten Zeitpunkt der Nachuntersuchung einen wichtigen Bestandteil des Studienprotokolls darstellte, wurde in der Studie von Reinhold et al. (52) nur bei 72,2 % der zuvor operierten Patienten eine Implantatentfernung dokumentiert. Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass die Rate der Implantatentfernungen in unserem Patientenkollektiv mit 25,6 % deutlich unter der Rate von vergleichbaren Studien liegt. Dies mag vor allem daran liegen, dass nur 62,8 % der Patienten den Termin zur Nachkontrolle wahrnahmen und somit 37,2 % der Patienten keine Notwendigkeit zur Erörterung einer möglichen Implantatentfernung sahen. Ebenfalls ist nicht auszuschließen, dass eine Entfernung des von uns eingebrachten Fixateur interne in einer anderen Klinik erfolgte. Hinzu kommt, dass die meisten der von uns operierten Patienten zum Zeitpunkt der Operation bereits ein fortgeschrittenes Lebensalter aufwiesen. Gerade bei Patienten höheren Alters stellt sich die Frage, ob die Vorteile einer Implantatentfernung gegenüber den Risiken einer erneuten Operation überwiegen. Aufgrund dieser Tatsache wurde einigen unserer Patienten von einer Entfernung des Fixateur interne abgeraten.

Obwohl die perkutane dorsale minimalinvasive Stabilisierung insbesondere im Vergleich zum offen chirurgischen Verfahren als sicheres und komplikationsarmes Verfahren gilt (13, 14), kam es bei 4 (5,1 %) der von uns operierten Patienten zu intraoperativen und bei 21 (26,9 %) der von uns operierten Patienten zu postoperativen Komplikationen. Daraus ergibt sich eine Komplikationsrate von insgesamt 32,1 %.

Zhao et al. (60) untersuchten in ihrer Studie 781 Patienten nach perkutaner Instrumentierung mit Pedikelschrauben hinsichtlich der aufgetretenen Komplikationen. Insgesamt erlitten 5,9 % also 46 Patienten intra- oder postoperative Komplikationen. Als intraoperative Komplikationen wurden drei Patienten mit einem Bruch des Führungsdrahtes, ein Patient mit einer Verletzung der Aorta und drei Patienten mit einer Verletzung der Dura und anschließendem Austritt von Liquor cerebrospinalis nach Vergrößerung des Schraubenkanals aufgeführt.

Weiß et al. (79) untersuchten insgesamt 670 Patienten nach einer minimalinvasiven Stabilisierung der Wirbelsäule auf intraoperative, postoperative und implantatspezifische Komplikationen. Die Autoren beschrieben dabei einen Fall bei dem es zum epifaszialen Einbringen des Längsträgers und einer dadurch bedingten Muskelnekrose gekommen ist.

In unserer Studie wurden bei 4 der 78 untersuchten Patienten (5,1 %) intraoperative Komplikationen erfasst. Dabei handelte es sich um jeweils eine unphysiologisch lange Nachblutung, eine Schraubenfehlage, welche noch intraoperativ korrigiert werden konnte, ein Zementparavasat sowie eine ausbleibende Zementaugmentation. Diese Komplikationen unterscheiden sich deutlich zu den von Zhao et al. (60) und Weiß et al. (79) dokumentierten Komplikationen und fielen bei ähnlicher Operationsmethode weniger gravierend aus.

Die Studie von Cappuccio et al. (15) ist der von uns durchgeführten Studie hinsichtlich des Patientenkollektives und der erfassten intraoperativen Komplikationsrate am ähnlichsten. Es wurden insgesamt 99 Patienten nach perkutaner minimalinvasiver Stabilisierung von thorakalen und lumbalen Wirbelkörperfrakturen untersucht, von denen 4 % intraoperative Komplikationen entwickelten. So kam es bei einem Patienten zum Bruch der Pedikelschraube im Bereich des Übergangs vom Schraubenkopf zum Schraubenschaft und bei vier Patienten wurde über eine Diskonnektion des Längsverbindingsträgers von der Pedikelschraube berichtet. Insgesamt ist die von uns erfasste intraoperative Komplikationsrate von 5,1 % mit der Komplikationsrate dieser Studie vergleichbar. Analog zu den von Cappuccio et al. (15) erfassten intraoperativen Komplikationen zeigten sich in unserer Studie hauptsächlich Material bezogene Komplikationen.

Insgesamt stellten sich die intraoperativ aufgetretenen Komplikationen von Cappuccio et al. (15) als weniger schwerwiegend im Vergleich zu den postoperativ aufgetretenen Komplikationen heraus. So trat postoperativ bei 4 Patienten (4 %) erneut eine

Diskonnektion des Längsverbindingsträgers von der Pedikelschraube bzw. ein Ausreißen der Pedikelschraube aus dem Wirbelkörper auf. Bei einem Patienten entwickelte sich ein Kauda-Syndrom (1 %) und bei einem weiteren Patienten (1 %) eine septische Wundheilungsstörung. Im späteren postoperativen Verlauf kam es bei je einem Patienten zu einer weiteren Schraubendislokation und zu einer verzögerten Frakturheilung. Diese Art der Komplikation trat auch bei Weiß et al. (79) auf. Aufgrund der Art der mechanischen Verblockung der verwendeten monoaxialen Schrauben ergaben sich in ihrem Patientenkollektiv fünf Schraubenlockerungen (0,7 %) im postoperativen Verlauf, wobei es sich bei drei der Patienten um Frühlockerungen innerhalb der ersten Tage nach der Operation handelte. Diese Patienten mussten zusätzlich von ventral stabilisiert werden. In drei Fällen kam es zum Bruch einer Pedikelschraube.

Reinhold et al. (52) berichten ebenfalls über insgesamt 19 Patienten (3,0 %) mit einem durch eine Schraubenlockerung oder Schraubenfehlage bedingten Korrekturverlust. Auch Zhao et al. (60) dokumentierten 8 Fälle (1,0 %) mit einem Bruch der Pedikelschraube und drei Fälle (0,4 %) mit einer Lockerung des Längsverbindingsträgers.

Vergleicht man diese Angaben mit der von uns erfassten Rate an postoperativen Implantatbezogenen Komplikationen, trat bei zwei Patienten (2,6 %) ein Materialversagen auf. Bei fünf Patienten (6,4 %) kam es im postoperativen Verlauf zu einer Schraubendislokation, wovon ein Patient in der Folge neurologische Komplikationen erlitt. Diese Angaben liegen etwas oberhalb der von den zuvor beschriebenen Studien erfassten Komplikationsraten.

Um die Unterschiede hinsichtlich der Rate des Materialversagens zu erklären, lohnt sich ein erneuter Blick auf das durchschnittliche Patientenalter. Während der Altersdurchschnitt der betroffenen Patienten bei Reinhold et al. (52) bei 41 Jahren lag, waren die von Zhao et al. (60) untersuchten Patienten zwischen 17 und maximal 60 Jahre alt. Betrachtet man hingegen das Durchschnittsalter von 61 ± 17 Jahren der von uns untersuchten Patienten, fällt dahingehend ein deutlicher Unterschied auf. Da sich mit zunehmendem Lebensalter die Knochenstruktur osteoporotisch verändert (73), verringert sich auch der Halt der implantierten Pedikelschraube im Knochen. Dadurch kann eine Schraubendislokation begünstigt und die von uns erfasste etwas höhere Komplikationsrate in Bezug auf das Materialversagen erklärt werden.

Zhao et al. (60) erhoben noch weitere postoperativ aufgetretene Komplikationen. Insgesamt 17 Patienten (2,2 %) erlitten eine Wandfraktur des zuvor instrumentierten Pedikels. In unserem Patientenkollektiv wurden zwar keine Pedikelfrakturen beobachtet, dafür aber in 2,6 % der Fälle ein Deckplatteneinbruch des zuvor instrumentierten Wirbelkörpers. Diese Komplikation ist sowohl von der Komplikation an sich als auch von der Rate des Auftretens in etwa vergleichbar mit der Studie von Zhao et al. (60).

Außerdem gilt es die allgemeine Rate an postoperativ aufgetretenen Infektionen zu beachten. Bei Weiß et al. (79) traten postoperativ in 7 Fällen revisionspflichtige Infektionen auf, welche alle ohne die Notwendigkeit einer Materialentfernung saniert werden konnten. Dies entspricht einer Infektionsrate von 1,0 % und ist damit deutlich geringer als die von uns erfasste postoperative Infektionsrate von 3,8 %. Allerdings muss hierbei berücksichtigt werden, dass es sich bei nur einem unserer Patienten (1,3 %) um einen rein auf das Implantat bezogenen periosteosynthetischen Infekt handelte und bei zwei unserer Patienten (2,6 %) eine Wundheilungsstörung ohne direkten Implantatbezug vorlag. Auch die postoperativ erfasste Infektionsrate von Zhao et al. (60) von 0,6 % und die von Reinhold et al. (52) im Rahmen der Multicenterstudie II erfasste postoperative Infektionsrate von 2,2 % lagen etwas unterhalb der von uns erfassten Infektionsrate von 3,8 %. Jedoch liegen die von uns dokumentierten Ergebnisse noch innerhalb der in der Literatur beschriebenen allgemeinen Infektionsrate von 2,6 bis 3,8 % (80).

Scholz et al. (62) untersuchten in der RASPUTHINE Studie 21 Patienten mit einer thorakolumbalen Berstungsfraktur (A3-Fraktur), welche randomisiert und in zwei Gruppen eingeteilt wurden. Die Kontrollgruppe (n = 12) wurde mit monoaxialen Pedikelschrauben offen chirurgisch und isoliert von dorsal stabilisiert, während die Interventionsgruppe (n = 9) in einer anschließenden Operation eine Fusion von ventral erhielt. Nach dem initialen chirurgischen Eingriff zeigte sich bei einem Patienten eine verzögerte Wundheilung, welche keiner weiteren Revision bedurfte. Insgesamt wurden in der Studie von Scholz et al. (62) keine vaskulären oder neurologischen Komplikationen in den beiden Gruppen beobachtet. Mit einer postoperativen Komplikationsrate von 4,8 % liegt diese deutlich unterhalb der von uns erfassten postoperativen Komplikationsrate von 26,9 %. Dies mag zum einen an dem deutlich kleineren Patientenkollektiv von nur 21 Patienten im Vergleich zu den von uns untersuchten 78 Patienten liegen, zum anderen an der Altersbeschränkung der Studie von Scholz et al. (62) auf maximal 65 Jahre. Jedoch ermittelte auch Zhao et al. (60) in seiner Studie mit 781 minimalinvasiv versorgten Patienten eine Komplikationsrate von nur 5,9 %, welche ebenfalls deutlich unter der von uns erfassten Komplikationsrate liegt.

Insgesamt liegt die Rate der von uns erhobenen postoperativ aufgetretenen Komplikationen mit 26,9 % recht hoch. Es gilt jedoch zu beachten, dass wir ebenfalls Komplikationen ohne direkten Bezug zum Operationsgebiet oder der durchgeführten Operation erfassten. Dazu zählten unter anderem das Auftreten postoperativer Beschwerden des Gastrointestinaltraktes, das Auftreten von Pneumonien, unklaren Fieberzuständen und Harnwegsinfekten oder das Auftreten von deliranten Zuständen. Diese Arten von Komplikationen wurden in keiner der zuvor genannten Studien untersucht oder als Komplikation aufgeführt. Ebenfalls ist davon auszugehen, dass aufgrund des deutlich höheren Durchschnittsalters unserer Patienten

von 61 ± 17 Jahren die Komplikationsrate zusätzlich erhöht wurde. Auch lässt sich in der Literatur keine Angabe zum Vorkommen eines Zementparavasates finden. Dies beobachteten wir jedoch allein in 5,1 % der Fälle. Betrachtet man nun die von diesen Faktoren bereinigte postoperative Komplikationsrate von 15,4 %, zeigt sich im Vergleich zu den in der Literatur beschriebenen Komplikationsraten für minimalinvasiv versorgte Wirbelkörperfrakturen ein deutlich geringerer Unterschied (15, 52, 60, 62, 79).

Trotz der sehr niedrigen Rate an Komplikationen haftet der minimalinvasiven Versorgung mit polyaxialen Pedikelschrauben an, das erreichte Repositionsergebnis im postoperativen Verlauf nicht halten zu können (5, 6, 8, 12, 15–17, 60, 71). Zur Erfassung der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung und dem Ausmaß des sekundären Korrekturverlustes stehen verschiedene Messmethoden zur Auswahl. Wir entschieden uns dazu die kyphotische Fehlstellung mittels drei verschiedener Winkelmaße zu verschiedenen Therapiezeitpunkten zu erfassen.

Zum einen haben wir den Körperwinkel, ein häufig genutztes Winkelmaß zur Bestimmung der kyphotischen Fehlstellung des frakturierten Wirbelkörpers an sich, gemessen (64). Die Inter- und Intraobserver Reliabilität liegt in der Literatur zwischen 0,607 bis 0,802 bzw. zwischen 0,685 bis 0,772 und befindet sich damit auf einem guten bis exzellenten Messniveau (81).

Der monosegmentale Grund-/Deckplattenwinkel und damit das Ausmaß der kyphotischen Fehlstellung des von der Fraktur betroffenen Bewegungssegmentes wird im internationalen Vergleich zwar eher selten bestimmt (64), aufgrund der guten bis exzellenten Inter- und Intraobserver Reliabilität (0,790-0,978 bzw. 0,801-0,995) (81, 82) entschlossen wir uns dennoch zur Verwendung dieses Winkelmaßes.

Der bisegmentale Grund-/Deckplattenwinkel ist der in der Klinik am häufigsten verwendete Winkel zur Darstellung der kyphotischen Fehlstellung der Bewegungssegmente kranial und kaudal der Fraktur (38, 64). Die Inter- und Intraobserver Reliabilität liegt in der Literatur zwischen 0,704-0,982 bzw. zwischen 0,727-0,996 und befindet sich damit auf einem guten bis exzellenten Messniveau (38, 81, 82).

Bei allen Messmethoden gilt zu beachten, dass es je nach zugrundeliegender radiologischer Bildgebung zu Messunterschieden kommen kann. Im Allgemeinen erfolgt die Auswertung der Winkelmaße anhand von Röntgenbildern im seitlichen Strahlengang und/oder von computertomografischen Aufnahmen in der Sagittalebene (81, 82).

Im Rahmen unserer Studie wurde das Ausmaß der kyphotischen Fehlstellung des frakturierten Wirbelsäulenabschnittes zum Unfallzeitpunkt, direkt im Anschluss an die operative Versorgung und nach einer mittleren Follow-Up Dauer von $8,5 \pm 8$ Monaten bestimmt. Die mittlere Follow-Up Dauer ergab sich aus dem Zeitpunkt des jeweils zuletzt angefertigten

radiologischen Bildes der Patienten im Nachuntersuchungszeitraum. Insgesamt konnte eine signifikante Reposition der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung, gemessen anhand aller drei Winkelmaße, durch die chirurgische Therapie beobachtet werden. Der Körperwinkel wurde im Mittel um $3,2^\circ$, der monosegmentale Grund-/Deckplattenwinkel im Mittel um $3,1^\circ$ und der bisegmentale Grund-/Deckplattenwinkel im Mittel um $2,0^\circ$ reponiert. Am Ende des Nachuntersuchungszeitraumes zeigte sich ein Korrekturverlust des Körperwinkels von $4,5^\circ$, ein Korrekturverlust des monosegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels von $4,7^\circ$ und ein Korrekturverlust des bisegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels von $3,7^\circ$.

Ähnliche Ergebnisse lassen sich auch in der Literatur finden. Wang et al. (55) verglichen in ihrer Studie zwei Patientengruppen, welche mit jeweils 4 bzw. 6 polyaxialen Pedikelschrauben minimalinvasiv stabilisiert wurden, mit einer Patientengruppe, die über einen offenen Zugang mit monoaxialen Schrauben instrumentiert wurde. In allen drei Gruppen zeigte sich eine signifikante Verbesserung der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung durch die operative Therapie, gemessen am bisegmentalen Grund-/Deckplattenwinkel (bGDW) sowie am Körperwinkel. In der Gruppe, in welcher die Patienten mit jeweils zwei Pedikelschrauben kranial und kaudal des frakturierten Wirbelkörpers versorgt wurden, kam es durch die operative Therapie zu einer Verbesserung der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung um $6,3^\circ$ (bGDW) bzw. um $7,3^\circ$ (Körperwinkel). Im Nachbeobachtungszeitraum wurde ein Korrekturverlust von $3,6^\circ$ (bGDW) bzw. von $1,4^\circ$ (Körperwinkel) beobachtet. Insgesamt zeigte sich in der Studie ein signifikanter Unterschied zu jenen Patienten, welche mit zwei zusätzlichen Pedikelschrauben im frakturierten Wirbelkörper selbst instrumentiert wurden. Diese Patientengruppe zeigte im Nachuntersuchungszeitraum ein besseres radiologisches Ergebnis. Aufgrund dessen empfehlen die Autoren der Studie die zusätzliche Stabilisierung durch Indexschrauben im frakturierten Wirbelkörper zur Vermeidung eines sekundären Repositionsverlustes. Diese Studie zeigte sowohl hinsichtlich der Reposition der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung durch die operative Therapie als auch in Bezug auf den Korrekturverlust im Nachuntersuchungszeitraum (gemessen am Körperwinkel) etwas bessere Ergebnisse als die von uns durchgeführte Studie. Hingegen waren das Ausmaß der unfallbedingten kyphotischen Fehlstellung als auch der Korrekturverlust, gemessen anhand des bisegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels, im Nachuntersuchungszeitraum nahezu identisch mit unseren Ergebnissen. Allgemein gilt zu beachten, dass es sich bei den von Wang et al. (55) untersuchten Frakturen nur um Typ A-Frakturen handelte, während in unserem Studienkollektiv auch Frakturen des B- und C-Typs inkludiert wurden, die per se eine höhere frakturbedingte Instabilität aufweisen.

Weiß et al. (71) ermittelten den Korrekturverlust nach perkutaner Instrumentierung mit einem polyaxialen Schraubensystem und Reposition im ventralen Durchhang sowie nach

Instrumentierung mit einem monoaxialen Schraubensystem. Im Mittel konnte eine Reposition von $6,8^\circ$ erreicht werden. Angaben zum postoperativen Korrekturverlust wurden nicht gemacht. Auch fehlen Informationen darüber, welches Winkelmaß gewählt wurde und ob es Unterschiede hinsichtlich des Repositionsergebnisses zwischen dem polyaxialen oder dem monoaxialen Schraubensystem gab. Interessanterweise empfehlen die Autoren trotz fehlender signifikanter Unterschiede zwischen den beiden Systemen die perkutane Instrumentierung mit einem monoaxialen Schraubensystem.

Ähnliche Ergebnisse erzielten Spiegl et al. (17), welche signifikant höhere Repositionsverluste ($10,8^\circ$ gemessen am bGDW) bei der Verwendung von polyaxialen Implantaten im Vergleich zu monoaxialen Implantaten ($2,8^\circ$ gemessen am bGDW) dokumentierten. Weitaus bessere Ergebnisse hinsichtlich der Reposition konnten die Autoren durch das Einbringen einer Indexschraube in den frakturierten Wirbelkörper bzw. durch eine Zementaugmentation der eingebrachten Pedikelschrauben erzielen. Nach einem Zeitraum von 6 Wochen gehen die Autoren von einer ausreichenden Konsolidierung des ehemals frakturierten Wirbelkörpers aus, sodass kein weiterer Repositionsverlust mehr zu erwarten sei. Diese Beobachtungen spiegeln sich auch in unserer Studie wider. Patienten mit mehr als zwei Nachuntersuchungen zeigten ab der zweiten Nachuntersuchung keine signifikanten Repositionsverluste mehr. Analog zu den Empfehlungen von Weiß et al. (71) sprechen sich Spiegl et al. (17) ebenfalls für die Verwendung eines monoaxialen Implantates zur Vermeidung einer relevanten Nachsinterung aus.

Neben Autorenmeinungen (8, 17, 71), welche sich kritisch gegenüber der Verwendung von polyaxialen Schraubensystemen äußern, lassen sich in der Literatur auch gegenteilige Ansichten finden. Fitschen-Oestern et al. (11) verglichen die minimalinvasive Stabilisierung thorakolumbalen Wirbelkörperfrakturen mit einer vergleichbaren offenen Operationstechnik. Bei dem minimalinvasiven Verfahren wurden größtenteils polyaxiale Pedikelschraubensysteme verwendet. Postoperativ zeigten sich keine signifikanten Unterschiede gemessen am bisegmentalen Grund-/Deckplattenwinkel hinsichtlich des erreichten Repositionsergebnisses zwischen dem minimalinvasiven Verfahren mit monoaxialen und polyaxialen Pedikelschrauben sowie zwischen dem minimalinvasiven und dem offen chirurgischen Verfahren. Auch am Ende des Nachuntersuchungszeitraumes von 12 Monaten konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den angewandten Verfahren ermittelt werden. Insgesamt wurde ein Korrekturverlust von $6,16^\circ$ (bGDW) unter Verwendung von polyaxialen Pedikelschrauben, ein Korrekturverlust von $4,67^\circ$ (bGDW) unter Verwendung von monoaxialen Pedikelschrauben und ein Korrekturverlust von $6,2^\circ$ (bGDW) nach Anwendung des offenen Verfahrens beobachtet. Der von den Autoren ermittelte Korrekturverlust von $6,16^\circ$ ist verglichen mit dem von uns ermittelten Korrekturverlust von $3,7^\circ$

in etwa doppelt so groß. Dennoch empfehlen Fitschen-Oestern et al. (11) aufgrund der fehlenden signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Korrekturverlustes die minimalinvasive Stabilisierung von thorakolumbalen Wirbelkörperfrakturen mit polyaxialen Pedikelschrauben.

Ungeachtet der unterschiedlichen Meinungen zur minimalinvasiven Instrumentierung mit polyaxialen und monoaxialen Pedikelschrauben werden in der Literatur weitere operative Verfahren zur Stabilisierung der frakturierten Wirbelsäule miteinander verglichen.

In der Multicenterstudie II der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie von Reinhold et al. (52) wurden Daten von Patienten miteinander verglichen, welche entweder operativ („OP“ Gruppe), konservativ („KONS“ Gruppe) oder mittels Kypho- oder Vertebroplastie („PLASTIE“ Gruppe) behandelt wurden. In der „OP“ Gruppe wurde je nach Frakturmorphologie ein dorsales, ein ventrales oder ein kombiniert dorsoventrales Vorgehen gewählt. Die Mehrzahl der dorsalen Operationen wurde mit einem winkelstabilen Fixateursystem durchgeführt. Das frakturbedingte Maß der kyphotischen Fehlstellung wurde ungeachtet der gewählten Therapie an der Brustwirbelsäule um $6,1^\circ$ (bGDW), am thorakolumbalen Übergang um $9,3^\circ$ (bGDW) und an der Lendenwirbelsäule um $4,7^\circ$ (bGDW) verbessert. Im Nachuntersuchungszeitraum kam es im Mittel nach 15 Monaten zu einem Korrekturverlust von $4,6^\circ$ (bGDW) an der Brustwirbelsäule, zu einem Korrekturverlust von $4,8^\circ$ (bGDW) am thorakolumbalen Übergang und zu einem Korrekturverlust von $3,1^\circ$ (bGDW) an der Lendenwirbelsäule. Der größte Korrekturverlust ließ sich nach der isoliert von dorsal durchgeführten Stabilisierung beobachten. Die Tatsache, dass aus den Ergebnissen der Nachuntersuchung nicht hervorgeht, ob diese vor oder nach einer möglichen Implantatentfernung erhoben wurden, limitieren die Aussagekraft dieser Studie. Im Allgemeinen ist davon auszugehen, dass die Metallentfernung eine Nachsinterung des vormals frakturierten Wirbelsäulenabschnittes mit sich bringt (78).

In der Gruppe der konservativ behandelten Patienten („KONS“) wurden zwei Patienten mit einem Gipsmieder und 36 Patienten mit einem Drei-Punkt-Korsett behandelt. Bei 14 Patienten erfolgte eine rein frühfunktionelle Behandlung mit dem Verzicht auf eine äußere Ruhigstellung. Die Dauer der Immobilisation sowie die Dauer der Ruhigstellung wurden jeweils individuell festgelegt. In der Gesamtheit kam es am Ende des Nachuntersuchungszeitraumes zu einem durchschnittlichen Korrekturverlust von $2,9^\circ$ (mGDW) bzw. $2,3^\circ$ (bGDW).

Vergleicht man den Korrekturverlust nach operativer Stabilisierung von Reinhold et al. (52) am Ende des Nachuntersuchungszeitraumes ($4,6^\circ$ BWS, $4,8^\circ$ Thorakolumbalen Übergang, $3,1^\circ$ LWS) mit dem von uns gemessenen Korrekturverlust von $3,7^\circ$ (bGDW) kann gesagt werden, dass es in unserer Studie trotz des Einsatzes eines polyaxialen Fixateursystems zu einem geringeren Repositionsverlust im Nachuntersuchungszeitraum gekommen ist. Ebenfalls zeigten sich in der Studie von Reinhold et al. (52) signifikant schlechtere

radiologische Ergebnisse in Bezug auf die frakturbedingte kyphotische Fehlstellung bei konservativ behandelten Patienten im Vergleich zu den operierten Patienten. So war das Ausmaß der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung am Ende des Nachuntersuchungszeitraumes bei den operierten Patienten mit 6,5° (mGDW) bzw. 6,3° (bGDW) deutlich geringer als das der konservativ behandelten Patienten (15,2° (mGDW) bzw. 9,6° (bGDW)).

Andere Ergebnisse bezüglich der konservativen Therapie von Wirbelkörperfrakturen liefern die Autoren Wood et al. (69). In dieser Studie wurden die Patienten randomisiert und in eine konservative (n = 18) und in eine operative Interventionsgruppe (n = 19) eingeteilt. Die konservative Therapie beinhaltete das Tragen eines Korsetts für insgesamt 12 Wochen. Die operative Versorgung erfolgte mittels Pedikelschrauben-Haken-Instrumentation und einer Arthrodesse. Insgesamt zeigte sich kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Korrekturverlustes über einen Nachuntersuchungszeitraum von bis zu 22 Jahren, auch wenn die Ergebnisse der operativ versorgten Patienten hinsichtlich des Korrekturverlustes weniger gravierend ausfielen. Aufgrund der Tatsache, dass die von Wood et al. (69) untersuchten Patienten der konservativen Gruppe bessere klinische Ergebnisse hinsichtlich der Funktionalität und der Angabe von Schmerzen erzielten, empfehlen die Autoren die konservative Behandlung für thorakolumbale Wirbelkörperfrakturen ohne neurologisches Defizit. Jedoch muss angemerkt werden, dass der sehr lange Nachbeobachtungszeitraum von insgesamt 223 Monaten (18,6 Jahre) eine geringe Anzahl an Patienten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung zur Folge hatte und somit als nicht repräsentativ zu werten ist.

Es bleibt also fraglich, in wieweit sich die konservative Therapie und die minimalinvasive Instrumentierung mit polyaxialen Pedikelschrauben hinsichtlich der Ergebnisse im Nachuntersuchungszeitraum unterscheiden.

Um die chirurgische Stabilisierung mit Pedikelschrauben effektiver zu gestalten und den Repositionsverlust im Nachuntersuchungszeitraum zu minimieren, werden aktuell neue Studiendesigns entwickelt. So untersuchten Hariri et al. (72) 46 Patienten mit einer thorakolumbalen Wirbelkörperfraktur, welche auf zwei Höhen kranial und auf zwei Höhen kaudal des frakturierten Wirbelkörpers mit Pedikelschrauben versorgt und anschließend mit einem Wirbelkörperersatzimplantat fusioniert wurden. Zusätzlich erfolgte bei allen 46 Patienten eine dekompressive Laminektomie der betroffenen Höhe und eine Anschlussbehandlung im Korsett für mindestens drei Monate. Soweit aus der Studie ersichtlich wird, erfolgte bei keinem der Patienten eine Materialentfernung innerhalb des Nachuntersuchungszeitraumes von 12 Monaten. Ebenfalls benötigte keiner der Patienten eine additional ventrale Versorgung, weswegen die Autoren das Verfahren der rein operativen Versorgung von dorsal empfehlen. Allerdings werden in der Studie weder Angaben über das

Ausmaß eines möglicherweise eingetretenen Repositionsverlustes noch über weitere klinisch-/funktionelle Ergebnisse gemacht. Auch das exakte Ausmaß der durchgeführten Laminektomie wurde nicht näher beschrieben, was den Repositionsverlust im Nachbeobachtungszeitraum je nach operativem Vorgehen unterschiedlich beeinflusst. Des Weiteren gilt zu beachten, dass alle B1-Frakturen (Chance-Fraktur) sowie alle Flexionsverletzungen aus der Studie ausgeschlossen wurden. Es ist davon auszugehen, dass die Empfehlungen von Hariri et al. (72) nur für einfache Frakturtypen vom Typ A nach der AO-Klassifikation Gültigkeit besitzen. Hinzu kommt, dass mit 98 % hauptsächlich Männer mit einem Durchschnittsalter von 36,8 Jahren behandelt wurden und bei einem älteren Patientenkollektiv von einem differenten Behandlungsverlauf ausgegangen werden muss. Insgesamt weist diese Studie zu viele Limitationen auf, um daraus auf ein allgemein anwendbares Therapieverfahren schließen zu können.

Ähnlich zu der operativen Versorgungsmethode von Hariri et al. (72), untersuchten Panteliadis et al. (5) 55 Patienten, welche rein von dorsal stabilisiert wurden. Die Versorgung mit Pedikelschrauben erfolgte entweder auf zwei Höhen kranial und auf zwei Höhen kaudal des frakturierten Wirbelkörpers (Gruppe 2/2) oder auf zwei Höhen kranial und einer Höhe kaudal des frakturierten Wirbelkörpers (Gruppe 2/1) oder jeweils auf einer Höhe kranial und einer Höhe kaudal des frakturierten Wirbelkörpers (Gruppe 1/1). 64 % der Patienten wurden minimalinvasiv und 36 % der Patienten wurden offen chirurgisch behandelt. Alle Patienten wurden mit Hilfe des bisegmentalen Grund-/Deckplattenwinkels nach 6 und nach 12 Monaten postoperativ nachuntersucht. Insgesamt kam es bei allen der drei angewendeten Verfahren zu einem Repositionsverlust über den Nachbeobachtungszeitraum. Als möglichen Grund nannten die Autoren die zusätzlich zum Wirbelkörper verletzten Bandscheiben und einen Kollaps des frakturierten Wirbelkörpers. Die größte Verbesserung (Reduktion um $11,7^\circ$) der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung sowie der geringste Korrekturverlust (Korrekturverlust von $0,1^\circ$) konnte in der Gruppe 2/2 erreicht werden, in der eine dorsale Stabilisierung zwei Höhen kranial und zwei Höhen kaudal des frakturierten Wirbelkörpers erfolgte. Insgesamt bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den minimalinvasiv und den offen chirurgisch behandelten Patienten. Jedoch muss bei dieser Studie auf die ungleiche Verteilung und die sehr kleine Patientenzahl in den verschiedenen Gruppen hingewiesen werden. So ist der Vergleich zwischen den Gruppen nur bedingt möglich. Interessanterweise sprechen die Autoren trotz der etwas besseren Ergebnisse nach langstreckiger Instrumentierung keine klare Empfehlung für eine langstreckige Versorgung der frakturierten Wirbelsäule aus.

Unabhängig vom Repositionsergebnis und dem Ausmaß des Korrekturverlustes nach chirurgischer Stabilisierung der Wirbelsäule stellt das subjektive klinische Ergebnis einen

wichtigen Marker für den Erfolg der Therapie dar. Denn wie sinnvoll erscheint ein besonders gutes radiologisches Ergebnis im Nachuntersuchungszeitraum, wenn der Patient anschließend mit dem von ihm empfundenen Ergebnis unzufrieden ist und erhebliche Einschränkungen im Alltag hinzunehmen hat. Um den subjektiven Behandlungserfolg der Patienten mit den von uns erhobenen radiologischen Ergebnissen vergleichen zu können, entschlossen wir uns die von uns operierten Patienten anhand des VAS-Wirbelsäulenscore von Knop et al. (65) zu ihrer aktuellen Situation zu befragen.

Aufgrund der guten Intrabeobachter Reliabilität und den einfachen Anwendungseigenschaften des Fragebogens, wählten wir diesen zur Erfassung des subjektiven Behandlungsergebnisses aus. Hinzu kommt, dass es sich bei diesem Fragebogen um einen speziell für traumatische Wirbelkörperfrakturen entwickelten Fragebogen handelt und somit exakt unserer Fragestellung entsprach (65). Des Weiteren wurde der VAS-Wirbelsäulenscore in der Vergangenheit in vielen anderen Studien zur Auswertung des subjektiven Behandlungserfolges nach thorakolumbalen Wirbelkörperfrakturen angewandt und validiert (52, 83–89). Jedoch fällt auf, dass der VAS-Wirbelsäulenscore hauptsächlich von deutschsprachigen Autoren oder in Folgestudien der Entwickler des Fragebogens selbst genutzt wird. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass der Fragebogen bislang nur in deutscher Sprache verfügbar ist und sich damit nicht für einen internationalen Gebrauch eignet. Eine Weiterentwicklung des Fragebogens und eine Übersetzung in die englische Sprache sind für eine internationale Vergleichbarkeit unbedingt notwendig.

Knop et al. (65) stellen in ihrer Studie zur Entwicklung des VAS-Wirbelsäulenscore anhand von 136 befragten rückengesunden Probanden einen Referenzwert von $91,95 \pm 7,52$ Punkten und $92,10 \pm 7,42$ Punkten im Re-Test zur Verfügung. Ein mittlerer Wert von 92 Punkten im VAS-Wirbelsäulenscore kann also als Richtwert für rückengesunde Patienten angenommen werden. Hierbei gilt jedoch zu beachten, dass dieser Richtwert nicht dem angenommenen Wert in der Normalbevölkerung entsprechen muss, da die Probanden anhand ihres Vorerkrankungsprofil selektiert wurden. In einer zweiten Patientengruppe ermittelten die Autoren einen weiteren Referenzwert anhand von 53 Patienten mit einer thorakalen Wirbelkörperfraktur, welche eine dorsale oder zweizeitige ventrale Stabilisierung erhielten. Diese Patienten erzielten postoperativ einen Wert von $58,25 \pm 22,19$ Punkten vor der Implantatentfernung und einem Wert von $66,08 \pm 25,03$ Punkten am Ende des Nachbeobachtungszeitraumes. In unserer Studie wurde nach einem Zeitraum von durchschnittlich 18 ± 12 Monaten postoperativ ein Wert von 65 ± 23 Punkten im VAS-Wirbelsäulenscore ermittelt. Dieser Wert entspricht nahezu dem von Knop et al. (65) erfassten Wert der zweiten Referenzgruppe nach operativer Stabilisierung.

Ebenfalls ähnlich zu den von uns gemessenen Werten zeigten sich die Ergebnisse von Reinhold et al. (52) im Rahmen der Multicenterstudie II. Die Autoren ermittelten einen durchschnittlichen Wert von 58,4 Punkten im VAS-Wirbelsäulenscore zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung in der Gruppe der operativ versorgten Patienten. Betrachtet man lediglich diejenigen Patienten, welche rein von dorsal stabilisiert wurden und somit am ehesten dem von uns untersuchten Patientenkollektiv entsprechen, ergab sich ein Durchschnittswert von 64,6 Punkten. Dies entspricht in etwa dem von uns ermittelten Wert von 65 ± 23 Punkten. Etwas schlechtere Werte erzielten diejenigen Patienten, welche rein von ventral (52,5 Punkte im VAS-Wirbelsäulenscore) oder kombiniert von dorsoventral (47,9 Punkte im VAS-Wirbelsäulenscore) versorgt wurden. Im Gegensatz dazu steht, dass der zuvor beschriebene Repositionsverlust, der von ventral und von dorsoventral versorgten Patienten geringer war als der Repositionsverlust der rein von dorsal operativ versorgten Patienten. Insgesamt sahen die Autoren dieser Studie keinen Zusammenhang zwischen dem Ergebnis im VAS-Wirbelsäulenscore und dem radiologischen Ergebnis zum Zeitpunkt der letzten Nachuntersuchung. Diese Beobachtung deckt sich mit den von uns erhobenen Befunden. Auch wir konnten keinen Zusammenhang zwischen dem Ausmaß des Korrekturverlustes im Nachuntersuchungszeitraum und dem Ergebnis im VAS-Wirbelsäulenscore nachweisen. Wir nehmen an, dass ein gewisser Korrekturverlust nicht zwangsläufig auch mit einem subjektiv schlechten Behandlungserfolg des Patienten einhergeht.

Auch andere Studien zeigten, dass das Ergebnis im VAS-Wirbelsäulenscore nicht zwangsläufig mit dem Ausmaß der kyphotischen Fehlstellung nach einer operativen Therapie korreliert. Viel eher hängt es mit der Art des gewählten Therapieverfahrens an sich zusammen. So untersuchten Lindtner et al. (83) insgesamt 37 Patienten nach einer kombinierten dorsoventralen Stabilisierung und Implantation eines expandierbaren Wirbelkörperersatzes beim Vorliegen einer thorakalen Wirbelkörperfraktur. Dabei wurden 17 Patienten monosegmental und 16 Patienten bisegmental stabilisiert. Die Daten von 4 Patienten konnten im Rahmen der Nachuntersuchung nicht erfasst werden. Am Ende des Nachbeobachtungszeitraumes erreichten die Patienten einen mittleren Wert im VAS-Wirbelsäulenscore von 75,4 Punkten, wobei sich dieser stark zwischen der monosegmentalen ($68,5 \pm 25,7$ Punkte) und der bisegmentalen Gruppe ($82,3 \pm 17,1$ Punkte) bei ansonsten ähnlichen Ausgangswerten unterschied. Eine Erklärung für diesen Unterschied konnten die Autoren nicht finden.

Sehr ähnlich dazu stellten sich die Ergebnisse von Schmid et al. (86) dar, welche einen mittleren Wert von 74,9 Punkten im postoperativ erfassten VAS-Wirbelsäulenscore nach Durchführung einer PLIF (Posterior Lumbar Interbody Fusion) bzw. TLIF (Transforaminal Lumbar Interbody Fusion) dokumentierten. Auch in dieser Studie fällt auf, dass das Ergebnis

im VAS-Wirbelsäulenscore nicht im Zusammenhang mit dem dokumentierten postoperativen Repositionsverlust steht (monsegmentaler Repositionsverlust: $5,2 \pm 3,7^\circ$; bisegmentaler Repositionsverlust: $2,6 \pm 2,5^\circ$).

Das relativ gute Ergebnis von Lindtner et al. (83) sowie von Schmid et al. (86) könnte auf das junge Durchschnittsalter von 47,3 Jahren bzw. von 31,8 Jahren zurückgeführt werden. Im Gegensatz dazu betrug das Durchschnittsalter in unserer Studie 61 ± 17 Jahre. Da es bekannt ist, dass das Alter zum Unfallzeitpunkt die Ergebnisse im VAS-Wirbelsäulenscore signifikant beeinflusst (4), lassen sich die Unterschiede im VAS-Wirbelsäulenscore zwischen diesen beiden und unserer Studie erklären.

Im Vergleich zu unseren Ergebnissen und zu den Ergebnissen von Lindtner et al. (83) und Schmid et al. (86) sieht das postoperative klinische Ergebnis bei den Patienten von Mayer et al. (84) wesentlich schlechter aus. Die Autoren verzeichneten einen Wert von $32,1 \pm 27,8$ Punkten im VAS-Wirbelsäulenscore nach offener Stabilisierung der frakturierten Wirbelsäule mit einem bisegmentalen Pedikelschraubensystem, ventraler Fusion in Form einer Korporektomie und anschließendem Wirbelkörperersatz mit einem autologen Bonegraft oder mit einem expandierbaren Wirbelkörperersatzimplantat. Aus den Ergebnissen dieser Studie lässt sich der Korrekturverlust nicht ablesen, da Angaben zum direkt postoperativ gemessenen Ausmaß des erreichten Repositionsergebnisses fehlen. Der präoperative bisegmentale Grund-/Deckplattenwinkel lag bei $12,6 \pm 6,8^\circ$ und der bisegmentale Grund-/Deckplattenwinkel zum Nachuntersuchungszeitraum lag bei $9,6 \pm 5,5^\circ$. So bleibt fraglich ob das schlechte Ergebnis im VAS-Wirbelsäulenscore eher dem operativen Verfahren an sich oder dem sekundären Korrekturverlust geschuldet ist.

Ein anderes Ergebnis fanden Spiegl et al. (85) in ihrer Studie beim Vergleich einer dorsoventralen thorakoskopischen Spondylodese mit einer rein ventralen thorakoskopischen Spondylodese. Das operative Vorgehen entsprach dabei in etwa dem operativen Vorgehen der beiden zuvor genannten Studien (83, 84). Die Ergebnisse im VAS-Wirbelsäulenscore von Spiegl et al. (85) waren bei den 10 Patienten der dorsoventralen Gruppe mit $84,1 \pm 11,5$ Punkten höher als bei den 9 Patienten der rein ventralen Gruppe mit $72,3 \pm 19,5$ Punkten. Ebenfalls dokumentierten die Autoren einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Ergebnissen im VAS-Wirbelsäulenscore und dem Maß der durch die Operation erreichten Reposition gemessen am monosegmentalen Grund-/Deckplattenwinkel (Reposition dorsoventral: $11,4 \pm 2,2^\circ$; Reposition ventral: $3,7 \pm 2,7^\circ$). Insgesamt sind die Autoren dieser Studie der Meinung, dass das klinische Ergebnis gemessen am VAS-Wirbelsäulenscore von der operativ erreichten Korrektur der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung abhängt. Interessanterweise wurde dieser Zusammenhang jedoch nur für die Ergebnisse des

VAS-Wirbelsäulenscores beobachtet, nicht jedoch für alle weiteren von den Autoren erhobenen Fragebögen zur Untersuchung des klinischen Ergebnisses der Patienten. Ebenso gibt es keinen Zusammenhang zwischen einem guten Ergebnis im VAS-Wirbelsäulenscore und dem eingetretenen Korrekturverlust nach stattgehabter Operation. Der Korrekturverlust zeigt sich in der Gruppe der dorsoventral versorgten Patienten trotz eines besseren Ergebnisses im VAS-Wirbelsäulenscore höher als in der Gruppe der rein von ventral operativ versorgten Patienten (Korrekturverlust dorsoventral: $7,4 \pm 2,3^\circ$ (mGDW); Korrekturverlust ventral: $4,1 \pm 2,9^\circ$ (mGDW)).

Auch lassen sich in der Literatur zahlreiche Ergebnisse des VAS-Wirbelsäulenscores nach konservativer Therapie thorakaler und lumbaler Wirbelkörperfrakturen finden. So untersuchten Post et al. (88) 50 Patienten, welche zwischen 1993 und 2000 konservativ behandelt wurden. Die Therapie sah eine initiale Bettruhe von 2 bis 6 Wochen sowie je nach Frakturtyp eine anschließende Korsettbehandlung für weitere 9 Monate vor. Nach einem Nachbeobachtungszeitraum von 4,3 Jahren betrug der durchschnittliche Punktwert $74,5 \pm 21,2$ Punkte und liegt damit höher als der von uns ermittelte Punktwert von 65 ± 23 Punkten. Nach 9,8 Jahren wurde der VAS-Wirbelsäulenscore erneut ausgefüllt und lag zu diesem Zeitraum bei $72,6 \pm 22,0$ Punkten. Die Verschlechterung nach 5,5 Jahren mag am Ehesten dem zunehmenden Alter der untersuchten Patienten geschuldet sein. Insgesamt bleibt bei diesem Ergebnis fraglich, in wie weit sich eine solch aufwendige Therapie, welche mit einer hohen Compliance von Seiten des Patienten verbunden ist, hinsichtlich eines letztendlich minimal besseren Ergebnisses im VAS-Wirbelsäulenscore lohnt. Auch ist zu erwähnen, dass eine konservative Behandlung nur bei bestimmten Frakturtypen eine mögliche Therapieform darstellt.

Etwas schlechtere Ergebnisse bezüglich des subjektiven Behandlungserfolges nach konservativ behandelten Typ A-Frakturen zeigten sich in der Studie von Siebenga et al. (87). In diese Studie wurden 34 Patienten eingeschlossen und operativ oder konservativ behandelt. 32 dieser Patienten konnten im Rahmen mehrerer Nachuntersuchungen mit dem VAS-Wirbelsäulenscore zu ihrem subjektiven Befinden befragt werden. Die 15 konservativ behandelten Patienten erreichten im Mittel einen Wert von $65,9 \pm 24,5$ Punkten, welcher in etwa vergleichbar ist mit dem von uns ermittelten Wert von 65 ± 23 Punkten. Die 17 operativ behandelten Patienten schnitten hingegen mit $82,9 \pm 19,2$ Punkten signifikant besser ab. Die Ergebnisse der konservativ behandelten Patienten liegen insgesamt etwas unterhalb den von Post et al. (88) ermittelten Ergebnissen. Insgesamt fehlen bei Siebenga et al. (87) jedoch die genaue Beschreibung der gewählten Therapieform sowie ein ausreichend großes Patientenkollektiv der einzelnen Gruppen um einen genaueren Vergleich zu ermöglichen.

In den beiden oben genannten Studien zur konservativen Behandlung von Wirbelkörperfrakturen wurde im Gegensatz zu den von ventral operativ stabilisierten Patienten (83–86) nicht auf einen Zusammenhang zwischen dem Ergebnis im VAS-Wirbelsäulenscore und dem radiologischen Endergebnis hin untersucht. Hinsichtlich dieser Frage gibt es aktuell keine ausreichende Studienlage bezüglich der konservativen Therapie von Wirbelkörperfrakturen.

Abschließend lässt sich sagen, dass sich die Ergebnisse im VAS-Wirbelsäulenscore nach operativen und nichtoperativen Verfahren hinsichtlich des Korrekturverlustes in der Literatur sehr verschieden darstellen. Es kann von keinem eindeutigen Zusammenhang zwischen einem guten radiologischen Ergebnis und einem guten Ergebnis im VAS-Wirbelsäulenscore ausgegangen werden.

Selbstverständlich zeigt auch unsere Studie einige Limitationen. So lag die Einschlussquote unserer Studie lediglich bei 54,55 %. Von den 158 Patienten, welche die Einschlusskriterien erfüllten, konnten insgesamt 143 Patienten schriftlich oder telefonisch kontaktiert werden. Von diesen 143 Patienten willigten 78 Patienten in das Studienprotokoll ein. Die Gründe für die fehlende Teilnahmebereitschaft der restlichen 65 Patienten lässt sich anhand der persönlichen Gespräche größtenteils durch ein fehlendes Verständnis für die Durchführung einer medizinischen Studie erklären. Gerade ältere Patienten waren der Teilnahme gegenüber einer solchen Studie eher skeptisch gestimmt. Eine fehlende Entlohnung wurde ebenfalls von einigen Patienten als Grund für die Ablehnung in das Studienprotokoll angegeben.

Ebenfalls auffällig ist der abnehmende Erfassungsgrad zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung. Insgesamt konnten nur noch 49 der ursprünglich 78 Patienten einer radiologischen und klinischen Nachuntersuchung unterzogen werden. Eine Nachuntersuchung wurde allen Patienten nach einem Zeitraum von frühestens 6 Wochen postoperativ empfohlen. Im Allgemeinen ist davon auszugehen, dass sich die Patienten eher dann zu einer Nachuntersuchung bereit erklärten, wenn weiterhin Einschränkungen im Bereich der Wirbelsäule vorlagen, was die Ergebnisse zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung aufgrund einer ungewollten Selektion verschlechtert haben könnte. Bezüglich der immer kleiner werdenden Patientenzahl zu den verschiedenen Zeitpunkten der Nachuntersuchung und den damit verbundenen Ergebnisschwankungen entschieden wir uns dazu, nur das zuletzt angefertigte radiologische Bild eines jeden Patienten auszuwerten.

Die Verwendung des VAS-Wirbelsäulenscore betreffend muss angemerkt werden, dass wir die Patienten nur zu einem Zeitpunkt der Behandlung befragten, nämlich am Ende des Nachbeobachtungszeitraumes. Wir entschlossen uns bewusst gegen eine retrospektive Auswertung der präoperativen Situation um Ungenauigkeiten der Angaben durch falsches oder verzerrtes Erinnern zu vermeiden. Aus diesem Grund liegen keine vergleichbaren

Ergebnisse des VAS-Wirbelsäulenscores zum präoperativen Zeitpunkt vor. Ebenfalls entschieden wir uns bewusst für die Nutzung und Erhebung von nur einem Fragebogen um die Teilnahmebereitschaft an der Studie nicht weiter einzuschränken. Des Weiteren ist es mit Hilfe dieses Fragebogens auch möglich gewesen ältere Personen sowie Personen mit einem eingeschränkten Verständnis der deutschen Sprache zu befragen.

Eine weitere Einschränkung im Rahmen des Studiendesigns stellt sicherlich die fehlende Kontrollgruppe dar. So untersuchten wir nur Patienten, die alle mit derselben Operationsmethode versorgt wurden. Einen Vergleich mit anderen Behandlungsoptionen erfolgte ausschließlich aus den Daten der bereits vorhandenen Literatur.

5 Schlussfolgerung

Ziel unserer Studie war es, das Repositionsergebnis und den sekundären Repositionsverlust derer Patienten zu untersuchen, welche mit einem polyaxialen Pedikelschraubensystem minimalinvasiv und von dorsal operativ versorgt wurden. Ebenfalls sollte untersucht werden in wie weit das erreichte Repositionsergebnis und ein eventuell eingetretener Korrekturverlust mit dem subjektiven Behandlungserfolg der Patienten korreliert.

So konnten wir zeigen, dass sich bei Patienten mit einer thorakalen oder lumbalen Wirbelkörperfraktur ohne neurologisches Defizit durch eine dorsale minimalinvasive Stabilisierung mit polyaxialen Pedikelschrauben eine signifikante Reduktion der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung erreichen lässt. Dazu wurden außer der Lagerung im ventralen Durchhang keine weiteren Maßnahmen zur aktiven Reposition angewandt. Auch das Auftreten relevanter neurologischer Sekundärereignisse wurde durch die operative Stabilisierung vermieden. Jedoch konnte das durch die operative Stabilisierung erreichte Repositionsergebnis im Nachuntersuchungszeitraum nicht gehalten werden. Wir mussten feststellen, dass das erreichte Repositionsergebnis der frakturbedingten kyphotischen Fehlstellung über den Nachbeobachtungszeitraum komplett verloren geht. Beides mag unter anderem durch Mikrobewegungen des polyaxial beweglichen Schraubenkopfes auf dem Längsträger unter Einwirkung axialer Kräfte bedingt sein. Somit bleibt der Nutzen der operativen Versorgung bezüglich des Haltens des Repositionsergebnisses weiterhin unklar.

Um die Wirbelsäule auch postoperativ adäquat stabilisieren und das Repositionsergebnis halten zu können, kann über eine zusätzliche Instrumentierung unter Verwendung von Indexschrauben oder über eine langstreckige Instrumentierung bei gegebener Indikation nachgedacht werden. Ziel sollte es sein, die Stabilität der frakturierten Wirbelsäule zu erhöhen und damit den sekundären Korrekturverlust zu minimieren.

Ob der Repositionsverlust im postoperativen Verlauf bei Verwendung polyaxialer Pedikelschrauben von entscheidender klinischer Bedeutung ist, hängt dabei weniger von der Meinung des behandelnden Arztes, sondern vielmehr von dem subjektiven Empfinden des Patienten ab. Denn wie wir ebenfalls in unserer Studie zeigen konnten, korreliert ein durch den Patienten empfundener guter Therapieerfolg im VAS-Wirbelsäulenscore nicht mit dem Ausmaß eines postoperativ eingetretenen Korrekturverlustes. Es bleibt daher fraglich, ob ein Korrekturverlust nach operativer Stabilisierung der frakturierten Wirbelsäule toleriert werden kann, wenn der Patient hierdurch letztendlich keine Einschränkungen erfährt. Insbesondere, weil die Stabilisierung mit polyaxialen Pedikelschrauben eine sehr einfache und sichere Behandlungsmethode gerade auch für ältere Patienten darstellt.

Weiterhin ist unklar wie sich der frakturierte Wirbelkörper im Falle einer konservativen Therapie verhält. Insbesondere das Risiko vom vollständigen Kollabieren des frakturierten Wirbelkörpers, was sich durch die operative Stabilisierung möglicherweise vermeiden ließe, bleibt unbestimmt.

In Zukunft sind weitere Studien notwendig um herauszufinden, ob sich der Repositionsverlust durch eine Kombination von polyaxialen Pedikelschrauben mit anderen Therapieformen zur Stabilisierung der frakturierten Wirbelsäule verringern lässt und in wie weit eine Osteosynthese bei Typ A Frakturen ohne Neurologie oder eine Läsion der Bandscheibe überhaupt nötig ist, um den frakturierten Wirbelkörper vor einer relevanten Nachsinterung zu bewahren.

6 Literaturverzeichnis

1. Destatis Statistisches Bundesamt. Die 20 häufigsten Operationen insgesamt (OPS 5) [Stand: 12.10.2019]. Verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Krankenhaeuser/Tabellen/drg-operationen-insgesamt.html>.
2. Siebenga J, Leferink VJM, Segers MJM, Elzinga MJ, Bakker FC, Haarman HJTM et al. Treatment of traumatic thoracolumbar spine fractures: a multicenter prospective randomized study of operative versus nonsurgical treatment. *Spine* 2006; 31(25): 2881–90. doi: 10.1097/01.brs.0000247804.91869.1e.
3. Verlaan JJ, Diekerhof CH, Buskens E, van der Tweel I, Verbout AJ, Dhert WJA et al. Surgical Treatment of Traumatic Fractures of the Thoracic and Lumbar Spine. *Spine* 2004; 29(7):803–14. doi: 10.1097/01.BRS.0000116990.31984.A9.
4. Reinhold M, Knop C, Beisse R, Audigé L, Kandziora F, Pizanis A et al. Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule: Teil I: Epidemiologie. *Der Unfallchirurg* 2009; 112(1):33-42, 44-5. doi: 10.1007/s00113-008-1524-7.
5. Panteliadis P, Musbahi O, Muthian S, Goyal S, Montgomery AS, Ranganathan A. A Comparison of Three Different Methods of Fixation in the Management of Thoracolumbar Fractures. *Int J Spine Surg* 2018; 12(1):1–7. doi: 10.14444/5001.
6. Spiegl UJ, Josten C, Devitt BM, Heyde C-E. Incomplete burst fractures of the thoracolumbar spine: a review of literature. *Eur Spine J* 2017; 26(12):3187–98. doi: 10.1007/s00586-017-5126-3.
7. Cahueque M, Cobar A, Zuñiga C, Caldera G. Management of burst fractures in the thoracolumbar spine. *J Orthop* 2016; 13(4):278–81. doi: 10.1016/j.jor.2016.06.007.
8. Verheyden AP, Spiegl UJ, Ekkerlein H, Gercek E, Hauck S, Josten C et al. Treatment of Fractures of the Thoracolumbar Spine: Recommendations of the Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma (DGOU). *Global Spine J* 2018; 8(2 Suppl):34S-45S. doi: 10.1177/2192568218771668.
9. Reinhold M, Knop C, Beisse R, Audigé L, Kandziora F, Pizanis A et al. Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule: Teil II: Operation und röntgenologische Befunde. *Der Unfallchirurg* 2009; 112(2):149–67. doi: 10.1007/s00113-008-1538-1.
10. Wood KB, Li W, Lebl DR, Lebl DS, Ploumis A. Management of thoracolumbar spine fractures. *Spine J* 2014; 14(1):145–64. doi: 10.1016/j.spinee.2012.10.041.
11. Fitschen-Oestern S, Scheuerlein F, Weuster M, Klueter T, Menzdorf L, Varoga D et al. Reduction and retention of thoracolumbar fractures by minimally invasive stabilisation versus open posterior instrumentation. *Injury* 2015; 46:S63-S70. doi: 10.1016/S0020-1383(15)30020-6.
12. Ye B, Yan M, Zhu H, Duan W, Hu X, Ye Z et al. Novel Screw Head Design of Pedicle Screw for Reducing the Correction Loss in the Patients With Thoracolumbar Vertebral Fractures: A Biomechanical Study: A Biomechanical Study. *Spine* 2017; 42(7):E379-E384. doi: 10.1097/BRS.0000000000001808.

13. Wild MH, Glees M, Plieschnegger C, Wenda K. Five-year follow-up examination after purely minimally invasive posterior stabilization of thoracolumbar fractures: a comparison of minimally invasive percutaneously and conventionally open treated patients. *Arch Orthop Trauma Surg* 2007; 127(5):335–43. doi: 10.1007/s00402-006-0264-9.
14. Wang B, Fan Y, Dong J, Wang H, Wang F, Liu Z et al. A retrospective study comparing percutaneous and open pedicle screw fixation for thoracolumbar fractures with spinal injuries. *Medicine (Baltimore)* 2017; 96(38):e8104. doi: 10.1097/MD.00000000000008104.
15. Cappuccio M, Amendola L, Paderni S, Bosco G, Scimeca G, Mirabile L et al. Complications in minimally invasive percutaneous fixation of thoracic and lumbar spine fractures. *Orthopedics* 2013; 36(6):e729-34. doi: 10.3928/01477447-20130523-16.
16. Palmisani M, Gasbarrini A, Brodano GB, Iure F de, Cappuccio M, Boriani L et al. Minimally invasive percutaneous fixation in the treatment of thoracic and lumbar spine fractures. *Eur Spine J* 2009; 18 Suppl 1:71–4. doi: 10.1007/s00586-009-0989-6.
17. Spiegl UJA, Jarvers J-S, Heyde C-E, Glasmacher S, Höh N von der, Josten C. Zeitverzögerte Indikationsstellung zur additiv ventralen Versorgung thorakolumbaler Berstungsfrakturen : Welcher Korrekturverlust ist zu erwarten. *Der Unfallchirurg* 2016; 119(8):664–72. doi: 10.1007/s00113-015-0056-1.
18. Bühren V. Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule. *Der Unfallchirurg* 2003; 106(1):55-68; quiz 68-9. doi: 10.1007/s00113-002-0557-6.
19. Paulsen F, Waschke J, Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen Band 1: Allgemeine Anatomie und Bewegungsapparat. 24. Aufl. München: Urban & Fischer; 2017. (Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen Band 1, S. 67-74).
20. Aumüller G, Aust G, Engele J, Kirsch J, Maio G, Mayerhofer A et al. Duale Reihe Anatomie. 4. aktualisierte Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2017. S. 257-264, S. 268-277
21. Oehmke H-J. Statik und Funktion der Wirbelsäule. *Unfallchirurgie* 1986; 12(6):332–6. doi: 10.1007/BF02585843.
22. Schiebler TH, Korf H-W. Anatomie: Histologie, Entwicklungsgeschichte, makroskopische und mikroskopische Anatomie, Topographie. 10., vollst. überarb. Aufl. Darmstadt: Steinkopff; 2007. (Springer E-book Collection). S. 228-248
23. Gonschorek O, Hauck S, Weiß T, Bühren V. Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule. *Chirurg* 2015; 86(9):901-14; quiz 915-6. doi: 10.1007/s00104-015-0045-5.
24. Müller CW, Hüfner T, Gössling T, Krettek C. Traumatologie der Wirbelsäule. *Chirurg* 2008; 79(10):918, 920-6. doi: 10.1007/s00104-008-1517-7.
25. Josten C, Heyde C-E, Spiegl UJ. Komplexpathologien an der Wirbelsäule: Trauma trifft Degeneration – eine Bestandsaufnahme. *Z Orthop Unfall* 2016; 154(5):440–8. doi: 10.1055/s-0042-108344.
26. Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF). Verletzungen der thorakolumbalen Wirbelsäule; 2018 [Stand: 08.10.2019]. Verfügbar unter: <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/012-028.html>.
27. Frankel HL, Hancock DO, Hyslop G, Melzak J, Michaelis LS, Ungar GH et al. The value of postural reduction in the initial management of closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia. I. Paraplegia 1969; 7(3):179–92. doi: 10.1038/sc.1969.30.

28. American Spinal Injury Association. International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury (ISNCSCI) [Stand: 08.10.2019]. Verfügbar unter: <https://asia-spinalinjury.org/international-standards-neurological-classification-sci-isncsci-worksheet/>.
29. Verheyden AP, Hölzl A, Ekkerlein H, Gercek E, Hauck S, Josten C et al. Therapieempfehlungen zur Versorgung von Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule. *Der Unfallchirurg* 2011; 114(1):9–16. doi: 10.1007/s00113-010-1934-1.
30. Leone A, Marino M, Dell'Atti C, Zecchi V, Magarelli N, Colosimo C. Spinal fractures in patients with ankylosing spondylitis. *Rheumatol Int* 2016; 36(10):1335–46. doi: 10.1007/s00296-016-3524-1.
31. Siewert JR, Brauer RB. *Basiswissen Chirurgie. 2., überarbeitete und aktualisierte Auflage.* Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2010. (Springer-Lehrbuch). S. 414
32. Holdsworth F. Fractures, Dislocations, and the Fracture Dislocations of the Spine. *J Bone Joint Surg Am* 1970; 52(8):1534–51.
33. Whitesides TE. Traumatic kyphosis of the Thoracolumbar Spine. *Clin Orthop Relat Res* 1977; (128):78–92.
34. Denis F. The Three Column Spine and its Significance in the Classification of Acute Thoracolumbar Spine Injuries. *Spine* 1983; 8(8):817–31.
35. 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* 2013; 38(23):2028–37. doi: 10.1097/BRS.0b013e3182a8a381.
36. Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *European spine journal* 1994; 3(4):184–201. doi: 10.1007/BF02221591.
37. Vaccaro AR, Lehman RA, Hurlbert RJ, Anderson PA, Harris M, Hedlund R et al. A New Classification of Thoracolumbar Injuries: The Importance of Injury Morphology, the Integrity of the Posterior Ligamentous Complex, and Neurologic Status. *Spine* 2005; 30(20):2325–33. doi: 10.1097/01.brs.0000182986.43345.cb.
38. Kuklo TR, Polly DW, Owens BD, Zeidman SM, Chang AS, Klemme WR. Measurement of Thoracic and Lumbar Fracture Kyphosis: Evaluation of Intraobserver, Interobserver, and Technique Variability. *Spine* 2001; 26(1):61-5; discussion 66. doi: 10.1097/00007632-200101010-00012.
39. Spiegl UJ, Fischer K, Schmidt J, Schnoor J, Delank S, Josten C et al. The Conservative Treatment of Traumatic Thoracolumbar Vertebral Fractures. *Dtsch Arztebl Int* 2018; 115(42):697–704. doi: 10.3238/arztebl.2018.0697.
40. Spiegl U, Jarvers J-S, Heyde C-E, Josten C. Osteoporotic vertebral body fractures of the thoracolumbar spine: indications and techniques of a 360°-stabilization. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2017; 43(1):27–33. doi: 10.1007/s00068-016-0751-9.
41. Beck M, Mittlmeier T. Thorakolumbale Frakturen – Operative Versorgung. *Trauma Berufskrankh* 2008; 10(S2):182–6. doi: 10.1007/s10039-008-1397-6.

42. Wood KB, Bohn D, Mehbod A. Anterior Versus Posterior Treatment of Stable Thoracolumbar Burst Fractures Without Neurologic Deficit: A Prospective, Randomized Study. *J Spinal Disord Tech* 2005; 18 Suppl:S15-23. doi: 10.1097/01.bsd.0000132287.65702.8a.
43. Magerl FP. Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation. *Clin Orthop Relat Res* 1984; (189):125–41.
44. Dick W. Innere Fixation von Brust- und Lendenwirbelfrakturen. *Aktuelle Probl Chir Orthop* 1984; 28:1–125.
45. Cheng LM, Wang JJ, Zeng ZL, Zhu R, Yu Y, Li C et al. Pedicle screw fixation for traumatic fractures of the thoracic and lumbar spine. *Cochrane Database Syst Rev* 2013; (5):CD009073. doi: 10.1002/14651858.CD009073.pub2.
46. Wang H, Li C, Liu T, Zhao W-D, Zhou Y. Biomechanical efficacy of monoaxial or polyaxial pedicle screw and additional screw insertion at the level of fracture, in lumbar burst fracture: An experimental study. *Indian J Orthop* 2012; 46(4):395–401. doi: 10.4103/0019-5413.98827.
47. Sebaaly A, Rizkallah M, Riouallon G, Wang Z, Moreau PE, Bachour F et al. Percutaneous fixation of thoracolumbar vertebral fractures. *EFORT Open Rev* 2018; 3(11):604–13. doi: 10.1302/2058-5241.3.170026.
48. Ye C, Luo Z, Yu X, Liu H, Zhang B, Dai M. Comparing the efficacy of short-segment pedicle screw instrumentation with and without intermediate screws for treating unstable thoracolumbar fractures. *Medicine (Baltimore)* 2017; 96(34):e7893. doi: 10.1097/MD.0000000000007893.
49. Pishnamaz M, Lichte P, Sellei RM, Pape H-C, Kobbe P. Perkutane dorsale Stabilisierung der Brust- und Lendenwirbelsäule mit aktiver intraoperativer Repositionsmöglichkeit. *Oper Orthop Traumatol* 2015; 27(5):439–47. doi: 10.1007/s00064-014-0320-5.
50. Weigel B, Nerlich ML. *Praxisbuch Unfallchirurgie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2011. S. 211
51. McCormack T, Karaikovic E, Gaines RW. The load sharing classification of spine fractures. *Spine* 1994; 19(15):1741–4. doi: 10.1097/00007632-199408000-00014.
52. Reinhold M, Knop C, Beisse R, Audigé L, Kandziora F, Pizanis A et al. Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule: Teil III: Nachuntersuchung. *Der Unfallchirurg* 2009; 112(3):294–316. doi: 10.1007/s00113-008-1539-0.
53. Hoppe S, Keel MJB. Pedicle screw augmentation in osteoporotic spine: indications, limitations and technical aspects. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2017; 43(1):3–8. doi: 10.1007/s00068-016-0750-x.
54. Schmidt-Rohlfing B, Reilmann H, Pfeifer R, Kobbe P, Pape HC. Kyphoplastie und Vertebroplastie. Indikationen, Techniken, Komplikationen und Ergebnisse. *Der Unfallchirurg* 2011; 114(5):431-40; quiz 41-2. doi: 10.1007/s00113-011-2013-y.
55. Wang H, Zhou Y, Li C, Liu J, Xiang L. Comparison of Open Versus Percutaneous Pedicle Screw Fixation Using the Sextant System in the Treatment of Traumatic Thoracolumbar Fractures. *Clin Spine Surg* 2017; 30(3):E239-E246. doi: 10.1097/BSD.000000000000135.

56. Iure F de, Cappuccio M, Paderni S, Bosco G, Amendola L. Minimal invasive percutaneous fixation of thoracic and lumbar spine fractures. *Minim Invasive Surg* 2012; 2012:141032. doi: 10.1155/2012/141032.
57. Shepard MF, Davies MR, Abayan A, Kabo JM, Wang JC. Effects of polyaxial pedicle screws on lumbar construct rigidity. *J Spinal Disord Tech* 2002; 15(3):233–6.
58. Schroerlucke SR, Steklov N, Mundis GM, Marino JF, Akbarnia BA, Eastlack RK. How does a novel monoplanar pedicle screw perform biomechanically relative to monoaxial and polyaxial designs? *Clin Orthop Relat Res* 2014; 472(9):2826–32. doi: 10.1007/s11999-014-3711-x.
59. Fogel GR, Reitman CA, Liu W, Esses SI. Physical characteristics of polyaxial-headed pedicle screws and biomechanical comparison of load with their failure. *Spine* 2003; 28(5):470–3. doi: 10.1097/01.BRS.0000048652.45964.2E.
60. Zhao Q, Zhang H, Hao D, Guo H, Wang B, He B. Complications of percutaneous pedicle screw fixation in treating thoracolumbar and lumbar fracture. *Medicine (Baltimore)* 2018; 97(29):e11560. doi: 10.1097/MD.00000000000011560.
61. Liu T, Zheng W-j, Li C-q, Liu G-d, Zhou Y. Design and biomechanical study of a modified pedicle screw. *Chin J Traumatol* 2010; 13(4):222–8. doi: 10.3760/cma.j.issn.1008-1275.2010.04.006.
62. Scholz M, Kandziora F, Tschauder T, Kremer M, Pingel A. Prospective randomized controlled comparison of posterior vs. posterior-anterior stabilization of thoracolumbar incomplete cranial burst fractures in neurological intact patients: the RASPUTHINE pilot study. *Eur Spine J* 2018; 27(12):3016–24. doi: 10.1007/s00586-017-5356-4.
63. Deutsches Institut für medizinische Dokumentation und Information. ICD-10-GM Version 2019: Systematisches Verzeichnis, Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme, 10. Revision; 2018 [Stand: 09.10.2019]. Verfügbar unter: <https://www.dimdi.de/static/de/klassifikationen/icd/icd-10-gm/kode-suche/htmlgm2019/block-s20-s29.htm#S22>.
64. Sadiqi S, Verlaan J-J, Lehr AM, Chapman JR, Dvorak MF, Kandziora F et al. Measurement of kyphosis and vertebral body height loss in traumatic spine fractures: an international study. *Eur Spine J* 2017; 26(5):1483–91. doi: 10.1007/s00586-016-4716-9.
65. Knop C, Oeser M, Bastian L, Lange U, Zdichavsky M, Blauth M. Entwicklung und Validierung des VAS-Wirbelsäulenscores. *Der Unfallchirurg* 2001; 104(6):488–97. doi: 10.1007/s001130170111.
66. Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF). Multimorbidität; 2017 [Stand: 09.10.2019]. Verfügbar unter: <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/053-047.html>.
67. Vaccaro AR, Schroeder GD, Kepler CK, Cumhuri Oner F, Vialle LR, Kandziora F et al. The surgical algorithm for the AOSpine thoracolumbar spine injury classification system. *Eur Spine J* 2016; 25(4):1087–94. doi: 10.1007/s00586-015-3982-2.
68. Hitchon PW, Abode-Iyamah K, Dahdaleh NS, Shaffrey C, Noeller J, He W et al. Nonoperative Management in Neurologically Intact Thoracolumbar Burst Fractures: Clinical and Radiographic Outcomes. *Spine* 2016; 41(6):483–9. doi: 10.1097/BRS.0000000000001253.

69. Wood KB, Buttermann GR, Phukan R, Harrod CC, Mehbod A, Shannon B et al. Operative compared with nonoperative treatment of a thoracolumbar burst fracture without neurological deficit: a prospective randomized study with follow-up at sixteen to twenty-two years. *J Bone Joint Surg Am* 2015; 97(1):3–9. doi: 10.2106/JBJS.N.00226.
70. Kumar A, Aujla R, Lee C. The management of thoracolumbar burst fractures: a prospective study between conservative management, traditional open spinal surgery and minimally interventional spinal surgery. *Springerplus* 2015; 4:204. doi: 10.1186/s40064-015-0960-4.
71. Weiß T, Hauck S, Bühren V, Gonschorek O. Repositionsmöglichkeiten mittels perkutaner dorsaler Instrumentierung: Bei Berstungsfrakturen des thorakolumbalen Übergangs. *Der Unfallchirurg* 2014; 117(5):428–36. doi: 10.1007/s00113-013-2364-7.
72. Hariri OR, Kashyap S, Takayanagi A, Elia C, Ma Q, Miulli DE. Posterior-only Stabilization for Traumatic Thoracolumbar Burst Fractures. *Cureus* 2018; 10(3):e2296. doi: 10.7759/cureus.2296.
73. Ensrud KE, Schousboe JT. Vertebral fractures. *N Engl J Med* 2011; 364(17):1634–42. doi: 10.1056/NEJMcp1009697.
74. Lunt M, O'Neill TW, Felsenberg D, Reeve J, Kanis JA, Cooper C et al. Characteristics of a prevalent vertebral deformity predict subsequent vertebral fracture: results from the European Prospective Osteoporosis Study (EPOS). *Bone* 2003; 33(4):505–13. doi: 10.1016/s8756-3282(03)00248-5.
75. Lyu J, Chen K, Tang Z, Chen Y, Li M, Zhang Q. A comparison of three different surgical procedures in the treatment of type A thoracolumbar fractures: a randomized controlled trial: A randomized controlled trial. *Int Orthop* 2016; 40(6):1233–8. doi: 10.1007/s00264-016-3129-z.
76. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 1977; 33(1):159–74.
77. Abedi A, Mokkink LB, Zadegan SA, Paholpak P, Tamai K, Wang JC et al. Reliability and Validity of the AOSpine Thoracolumbar Injury Classification System: A Systematic Review. *Global Spine J* 2019; 9(2):231–42. doi: 10.1177/2192568218806847.
78. Jeon C-H, Lee H-D, Lee Y-S, Seo J-H, Chung N-S. Is It Beneficial to Remove the Pedicle Screw Instrument After Successful Posterior Fusion of Thoracolumbar Burst Fractures? *Spine* 2015; 40(11):E627-33. doi: 10.1097/BRS.0000000000000870.
79. Weiß T, Gonschorek O, Bühren V. Der perkutane Fixateur interne an der Wirbelsäule: Komplikationsrate eines neuen Verfahrens. *OUP* 2015; (04):179–85. doi: 10.3238/oup.2015.0179–0185.
80. Leue L, Kothe R. Komplikationen bei operativen Eingriffen an der Wirbelsäule. *Orthopäde* 2009; 38(9):796–805. doi: 10.1007/s00132-009-1449-z.
81. Ulmar B, Brunner A, Gühring M, Schmälzle T, Weise K, Badke A. Inter- and intraobserver reliability of the vertebral, local and segmental kyphosis in 120 traumatic lumbar and thoracic burst fractures: evaluation in lateral X-rays and sagittal computed tomographies. *Eur Spine J* 2010; 19(4):558–66. doi: 10.1007/s00586-009-1231-2.
82. Street J, Lenehan B, Albiets J, Bishop P, Dvorak M, Fisher C. Intraobserver and interobserver reliability of measures of kyphosis in thoracolumbar fractures. *Spine J* 2009; 9(6):464–9. doi: 10.1016/j.spinee.2009.02.007.

83. Lindtner RA, Mueller M, Schmid R, Spicher A, Zegg M, Kammerlander C et al. Monosegmental anterior column reconstruction using an expandable vertebral body replacement device in combined posterior-anterior stabilization of thoracolumbar burst fractures. *Arch Orthop Trauma Surg* 2018; 138(7):939–51. doi: 10.1007/s00402-018-2926-9.
84. Mayer M, Ortmaier R, Koller H, Koller J, Hitzl W, Auffarth A et al. Impact of Sagittal Balance on Clinical Outcomes in Surgically Treated T12 and L1 Burst Fractures: Analysis of Long-Term Outcomes after Posterior-Only and Combined Posteroanterior Treatment. *Biomed Res Int* 2017; 2017:1568258. doi: 10.1155/2017/1568258.
85. Spiegl U, Hauck S, Merkel P, Bühren V, Gonschorek O. Six-year outcome of thoracoscopic ventral spondylodesis after unstable incomplete cranial burst fractures of the thoracolumbar junction: ventral versus dorso-ventral strategy. *Int Orthop* 2013; 37(6):1113–20. doi: 10.1007/s00264-013-1879-4.
86. Schmid R, Krappinger D, Blauth M, Kathrein A. Mid-term results of PLIF/TLIF in trauma. *Eur Spine J* 2011; 20(3):395–402. doi: 10.1007/s00586-010-1615-3.
87. Siebenga J, Leferink VJM, Segers MJM, Elzinga MJ, Bakker FC, Ten DH et al. A prospective cohort study comparing the VAS spine score and Roland-Morris disability questionnaire in patients with a type A traumatic thoracolumbar spinal fracture. *Eur Spine J* 2008; 17(8):1096–100. doi: 10.1007/s00586-008-0705-y.
88. Post RB, van der Sluis CK, Leferink VJM, Dijkstra PU, Duis HJ ten. Nonoperatively treated type A spinal fractures: mid-term versus long-term functional outcome. *Int Orthop* 2009; 33(4):1055–60. doi: 10.1007/s00264-008-0593-0.
89. Briem D, Behechtnejad A, Ouchmaev A, Morfeld M, Schermelleh-Engel K, Amling M et al. Pain regulation and health-related quality of life after thoracolumbar fractures of the spine. *Eur Spine J* 2007; 16(11):1925–33. doi: 10.1007/s00586-007-0395-x.

7 Anhang

Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule (T1–L5)		Patientenbogen VAS	
Name _____	Geschlecht <input type="checkbox"/> m / <input type="checkbox"/> w	Datum VAS □□.□□.□□	
_____	Klinik-Lfd.Nr. □□-□□□□		
_____	Untersucher □□□		
Geburtsdag □□.□□.□□	Zeitpunkt <input type="checkbox"/> 1 Präoperativ; 2 Postoperativ, vor ME; 3 ME; 4 Nach ME		

Hinweise zu den Fragen und zum Ausfüllen des VAS-Bogens

Zeitraum:

- Beschreiben Sie bitte nur den Zeitraum vor dem Unfall (die letzten Wochen oder Monate)!
- Beschreiben Sie bitte nur den Zeitraum vor der Metallentfernung!
- Beschreiben Sie bitte nur den aktuellen Zeitraum (die letzten Wochen oder Monate)!

(Zutreffendes ist vom Untersucher anzukreuzen)

Auf der Rückseite befindet sich ein Fragebogen zum Thema „Rückenprobleme“ (z.B. Rückenschmerzen). Zur Beantwortung der Fragen steht Ihnen eine Skala in Form einer Linie zur Verfügung. Bitte markieren Sie als Antwort auf jede Frage die Stelle auf der Linie mit einem **Kreuz (x)**, die Ihre persönliche Situation im o.g. Zeitraum (durchschnittlich) am besten wiedergibt. Am linken Rand der Linien befindet sich immer der für Sie negativste Wert. Am rechten Rand befindet sich der für Sie positivste Wert. Schreiben Sie bitte **keine Antworten als Text** wie z. B. „sehr lange“ oder „über 2 Stunden“!

Nachfolgend ist eine Beantwortung der Frage „Wie geht es Ihnen heute?“ als Beispiel wiedergegeben:

Sehr schlecht |—————x—————| Bestens, sehr gut

Die Antwort durch das Kreuz auf der Linie bedeutet in diesem Beispiel, daß es Ihnen heute „ganz gut“ aber nicht „sehr gut“ geht.

Beantworten Sie die Fragen bitte nur negativ, wenn *Rückenprobleme* auch wirklich verantwortlich für die Einschränkung bei einer bestimmten Tätigkeit sind. **Beispiel:** Die Frage nach Rückenproblemen beim Laufen würden Sie vielleicht mit „Laufen unmöglich“ beantworten, weil Sie ggf. die Puste zum Laufen nicht (mehr) haben. Gemeint ist jedoch, ob Sie prinzipiell ohne Rückenprobleme laufen können oder, ob Ihnen Rückenprobleme - wie Schmerzen - das Laufen unmöglich machen.

Sie müssen nicht jede Frage beantworten! Beantworten Sie nur die Fragen, die Sie möchten und die Sie verstanden haben! Nutzen Sie bitte das Feld „Ergänzungen / Besonderheiten / Bemerkungen“ für Verbesserungsvorschläge und / oder Kritik.

Erläuterung einiger Begriffe:

Körperliche Ruhe: Gemeint ist der Zustand, wenn Sie keine anstrengenden Dinge tun wie z. B. die Zeitung lesen, auf dem Sofa oder im Bett liegen, Fernsehen, Musik hören, sich entspannen usw.

Körperliche Belastung: Gemeint ist der Zustand, wenn Sie Tätigkeiten verrichten wie z. B. schwere Gartenarbeiten, schwere berufsbedingte Arbeiten, anstrengenden Sport treiben usw.

Hausarbeiten: Gemeint sind alltägliche Tätigkeiten wie z.B. Fenster putzen, Bügeln, Staubsaugen, Abwaschen, Kochen, den Boden wischen, Aufräumen usw.

Aktivitäten des täglichen Lebens: Gemeint sind persönliche Tätigkeiten wie z. B. aufstehen, essen, sich waschen, sich die Schuhe zubinden usw. Die Antwort auf diese Frage sollte sich nicht auf Tätigkeiten beziehen, die bereits an anderer Stelle des Fragebogens (z.B. Stehen, Vorbeugen, Tragen usw.) erfragt werden!

Ergänzungen / Besonderheiten / Bemerkungen

© C. Krop, M. Oese, L. Bastian, U. Lange, M. Zdrichavsky, M. Baurth (2001) Unfallchirurg 104: 488-497



1	Ständig, immer	Wie oft stören Rückenschmerzen Ihren Schlaf?	Nie, sehr selten
2	Ständig, immer	Wie oft haben Sie in körperlicher Ruhe Rückenschmerzen?	Nie, sehr selten
3	Nicht auszuhalten, unerträglich	Wie stark sind dann in körperlicher Ruhe die Rückenschmerzen?	Keine Schmerzen
4	Ständig, immer	Wie oft haben Sie bei körperlicher Belastung Rückenschmerzen?	Nie, sehr selten
5	Nicht auszuhalten, unerträglich	Wie stark sind dann bei körperlicher Belastung die Rückenschmerzen?	Keine Schmerzen
6	Ständig, immer	Wie oft nehmen Sie Schmerzmittel gegen Rückenschmerzen ein?	Nie, sehr selten
8	Gar nicht, nur kurz oder mit Hilfsmitteln	Wie lange können Sie ohne Rückenbeschwerden sitzen?	Stundenlang, ohne Einschränkung
9	Vorbeugen unmöglich	Wie stark schränken Rückenbeschwerden das Vorbeugen ein (wie z. B. beim Abwaschen)?	Vorbeugen ohne Einschränkung möglich
10	Alter Beruf kann nicht mehr ausgeübt werden	Wie stark schränken Rückenbeschwerden Ihren Beruf ein?	Keine Einschränkung im Beruf
11	Auch leichtes Heben unmöglich	Wie stark schränken Rückenbeschwerden das Hochheben ein?	Schweres Heben ohne Einschränkung möglich
12	Auch leichte Arbeit unmöglich	Wie stark schränken Rückenbeschwerden Hausarbeiten ein?	Schwere Arbeit ohne Einschränkung möglich
13	Gar nicht, nur kurz oder mit Hilfsmitteln	Wie lange können Sie ohne Rückenbeschwerden stehen?	Stundenlang, ohne Einschränkung
14	Gar nicht, nur kurz oder mit Hilfsmitteln	Wie lange können Sie ohne Rückenbeschwerden gehen?	Stundenlang, ohne Einschränkung
15	Auch kurzes Laufen unmöglich	Wie stark schränken Rückenbeschwerden das Laufen ein (z. B. Jogging, Waldlauf etc.)?	Längeres Laufen ohne Einschränkung möglich
16	Allein unmöglich, immer hilfsbedürftig	Wie stark schränken Rückenbeschwerden Aktivitäten des täglichen Lebens ein (z. B. Essen, Waschen etc.)?	Keine Einschränkung
17	Gar nicht, nur kurz oder mit Hilfsmitteln	Wie lange können Sie ohne Rückenbeschwerden reisen (z. B. Autofahren, Zugfahren, Busfahren etc.)?	Stundenlang, ohne Einschränkung
18	Vollständig, wegen der Rückenprobleme	Wie stark schränken Rückenbeschwerden Ihr Sexualleben ein?	Keine Einschränkung
19	Auch leichtes Tragen unmöglich	Wie stark schränken Rückenbeschwerden das Tragen ein?	Schweres Tragen ohne Einschränkung möglich

Danksagung

Ganz besonders danke ich mich meinem Doktorvater Herr Prof. Dr. med. Michael Wild, ohne den diese Arbeit niemals möglich gewesen wäre. Neben der Überlassung des Themas stand er mir jederzeit mit seinen hilfreichen Ratschlägen und Anmerkungen zur Seite. Seine unermüdliche Motivation und die unglaublich schnellen Korrekturen schätzte ich sehr.

Ich bedanke mich auch bei PD Dr. med. Simon Thelen für die Co-Betreuung meiner Arbeit.

Ebenso möchte ich mich ganz herzlich bei Frau Raubal bedanken, welche immer ein offenes Ohr für mich hatte und geholfen hat, wo es nur möglich war.

Im Besonderen danke ich meiner Familie und meinen Freunden, die mich zu jeder Zeit unterstützen und mir immer wieder neuen Mut und Kraft geben, meine Ziele zu erreichen.