

Aus der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie,
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar
Direktor Prof. Dr. med. T. Pohlemann

**Vergleich zweier Fixateur interne Stabilisierungstechniken
bei der dorso-ventralen Versorgung von Wirbelfrakturen:
mono- vs. bisegmentale Fixation**

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

der Medizinischen Fakultät

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2018

vorgelegt von: Anna Theresa Soika
geboren am: 27.06.1990 in Freudenstadt

Abkürzungsverzeichnis

a.-p.	= anterior-posterior
AP	= Anterior Posterior
AO	= Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese
bi	= bisegmental
BWS	= Brustwirbelsäule
BWK	= Brustwirbelkörper
DGOOC	= Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und orthopädische Chirurgie
DICOM	= Digital Imaging and Communications in Medicine
GDW	= Grund-Deckplatten-Winkel
h	= hours (Stunden)
KW	= Körperwinkel
L	= Lendenwirbel
LSS	= Load Sharing Score
LWS	= Lendenwirbelsäule
LWK	= Lendenwirbelkörper
mono	= monosegmental
PACS	= Picture Archiving and Communication System
prä-OP	= präoperativ
post-OP	= postoperativ
seitl.	= seitlich
SD	= Standardabweichung
Th	= Thorakalwirbel
Tsk	= Thorakoskopie
UKS	= Universitätsklinikum des Saarlandes
USS	= Universal Spine System
WK	= Wirbelkörper

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung.....	5
2. Einleitung.....	9
3. Grundlagen.....	13
4. Patienten und Methoden.....	17
4.1 Studiendesign und Gruppendifinition.....	17
4.1.1 Kriterien für Früh- und Langzeitergebnisse.....	18
4.1.2 Einschlusskriterien.....	18
4.1.3 Ausschlusskriterien.....	18
4.2 Operation.....	18
4.2.1 Erster operativer Eingriff: dorsale Instrumentierung.....	19
4.2.2 Zweiter operativer Eingriff: ventrale Spondylodese.....	25
4.2.3 Postoperative Nachbehandlung.....	27
4.3 Datenerhebung.....	27
4.3.1 Aufnahme- und Patientendaten inkl. Allgemeiner demographische Daten.....	28
4.3.2 Spezielle klinische Daten in Zusammenhang mit den Operationen	28
4.3.3 Radiologische Daten.....	29
4.4 Statistische Auswertung.....	34
4.4.1 Power-Analyse.....	35
5. Ergebnisse.....	37
5.1 Die Behandlungsgruppen.....	37
5.1.1 Eigenschaften des Patientenkollektivs.....	37
5.1.2 Frakturklassifikation.....	37
5.1.3 Begleitverletzungen und Begleiterkrankungen.....	38
5.1.4 Versorgungszeiten und stationärer Aufenthalt.....	40
5.2 Operative Behandlung.....	43
5.2.1 Höhenlokalisierung von Fraktur und Operation.....	43
5.2.2 Zugangsverfahren für den anterioren Zweiteingriff.....	43
5.2.3 Operationszeiten und Blutverluste.....	44
5.2.4 Neurologische Ausfälle.....	46

5.2.5	Komplikationen.....	47
5.3	Repositionsergebnis und Instrumentierungsergebnis.....	48
5.3.1	Grunddeckplattenwinkel.....	48
5.3.2	Körperwinkel und relative Wirbelkörperhöhe.....	53
5.3.3	Spinalkanalweite.....	55
5.3.4	Lage der Fixateur-Schrauben.....	57
5.3.5	Span-Neigung und -Position.....	58
5.4	Radiologische Verläufe.....	60
5.4.1	Korrekturverlust im Grunddeckplattenwinkel.....	61
5.4.2	Knöcherner Durchbauung des Beckenkammspanns.....	65
6.	Diskussion.....	67
6.1	Allgemeine Ergebnisse.....	68
6.1.1	Versorgungszeiten und stationärer Aufenthalt.....	68
6.1.2	Operationsdauer.....	69
6.1.3	Blutverluste.....	70
6.2	Radiologische Frühergebnisse.....	72
6.2.1	Grunddeckplattenwinkel anterior-posterior.....	73
6.2.2	Grunddeckplattenwinkel seitlich.....	74
6.2.3	Vor- und Nachteile bei der Reposition des Spinalkanals.....	75
6.3	Instrumentierung.....	76
6.3.1	Technik der dorsalen Instrumentierung.....	76
6.3.2	Beckenkammspan.....	80
6.4	Radiologische Verläufe.....	81
6.4.1	Grunddeckplattenwinkel anterior-posterior.....	81
6.4.2	Korrekturverlust im Grunddeckplattenwinkel seitlich.....	81
6.4.3	Knöcherner Durchbauung des Beckenkammspanns.....	83
7.	Einschränkung und Ausblick.....	86
8.	Literaturverzeichnis.....	88
9.	Dank.....	93

1 Zusammenfassung

EINLEITUNG: Bei notwendiger operativer Versorgung frischer traumatischer Wirbelfrakturen ist die monosegmentale Fixation mit ventraler Fusion bisher noch ein im Vergleich zur „klassischen“ bisegmentalen dorsalen Fixation mit ventraler Fusion seltener angewandtes operatives Verfahren. Ziel dieser Studie ist es anhand von Früh- und Langzeitergebnissen Unterschiede sowie Vor- und Nachteile beider Verfahren zu erarbeiten.

MATERIAL/METHODEN: Zwischen 2005 und 2013 wurden in der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie Homburg/ Saar aus allen Fällen, die aufgrund von thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen operiert wurden 47 Patienten nach definierten Eingangskriterien selektiert. Alle Patienten hatten eine dorsale Fixation mit ventraler Fusion erhalten, jedoch die dorsale Fixation in unterschiedlicher Technik. In einer Gruppe erfolgte die dorsale Fixation klassisch bisegmental (Gruppe Bi mit 24 Patienten) und in der anderen Gruppe monosegmental (Gruppe Mono mit 23 Patienten). Der Vergleich beider Gruppen erfolgte retrospektiv anhand klinischer Daten und radiologischer Parameter sowohl von Frühergebnissen als auch Verlaufskontrollen.

RESULTATE: Behandelt wurden in beiden Gruppen mehrheitlich Berstungsfrakturen vom Typ A3.1. Der Load-Sharing-Classification-Score betrug $7 (\pm 1)$. Bei nahezu gleichen Anfangsbedingungen in Bezug auf Körperwinkel und relative mittige Wirbelkörperhöhe konnte in beiden Gruppen eine signifikante Reduktion der präoperativen Fehlstellung erreicht werden. Die Korrekturausmaße postoperativ sowie im Verlauf (mind. 6 Monate postop) unterschieden sich dabei nicht signifikant zwischen den Gruppen. Der Korrekturumfang des sagittalen Grunddeckplattenwinkels postoperativ lag bei $6^\circ (\pm 6^\circ)$ in der Gruppe Mono bzw. $8^\circ (\pm 5^\circ)$ in der Gruppe Bi. Spinalkanaleinengungen wurden mit beiden Techniken effektiv reduziert. Bei OP-Zeiten und Blutverlust zeigten sich keine signifikanten Unterschiede. Bezüglich der Durchbauung des intercorporell transplantierten Beckenkammspans konnte eine tendenziell schnellere Einheilung in der Gruppe mit dem monosegmentalen Verfahren festgestellt werden.

SCHLUSSFOLGERUNG: Für die monosegmentale dorsale Fixation konnten keinerlei Nachteile im Vergleich zur klassischen bisegmentalen Technik gefunden werden, insbesondere die Reposition und im Verlauf aufgetretene Korrekturverluste unterschieden sich nicht signifikant. Als Vorteil kann die kürzere Fixationsstrecke und eine tendenziell schnellere Einheilung des tricorticalen Beckenkammspanns genannt werden. Bei Vorliegen festgelegter Eingangskriterien stellt die monosegmentale dorsale Fixation mit ventraler Fusion bei der Versorgung frischer traumatischer Wirbelfrakturen somit ein dem bisegmentalen „Standardverfahren“ ebenbürtiges Verfahren dar, welches in Zukunft weiter etabliert und häufiger eingesetzt werden sollte.

Operative treatment of thoracolumbar spine fractures: A comparison of two fixateur interne fixation techniques - mono vs. bisegmentale fixation

INTRODUCTION: When operative treatment of recent traumatic vertebral fractures of the thoracolumbar spine is necessary, the monosegmental dorsal fixation and anterior fusion is a less frequently applied technique compared to the „classic“ bisegmental dorsal fixation and anterior fusion. The aim of this study is to assess possible differences, advantages and disadvantages of both techniques based on early and long-term results.

MATERIAL/METHODS: Between 2005 and 2013 in the Department of Traumatology and Reconstructive Surgery Homburg/Saar 47 patients were selected by defined entry criterias out of all patients that were operated for thoracolumbar spine injuries. All patients were treated with dorsal fixation and ventral fusion, but the dorsal fixation was performed in two different ways. One group was treated with bisegmental dorsal fixation (group Bi with 24 patients) and the other group with monosegmental dorsal fixation (group Mono with 23 patients). The comparison of both groups was made retrospectively based on clinical and radiological parameters from early and long-term results.

RESULTS: In both groups predominantly burst fractures of AO-Type A3.1 were treated. The load-sharing-classification score was 7 (± 1). Having nearly similar initial conditions related to vertebral body wedge and central height, both groups reached a significant reduction of preoperative deformity. Between the groups there was no significant difference of deformity correction postoperative and after 6 months. The amount of correction of postoperative sagittal angle was 6° ($\pm 6^\circ$) in group Mono and 8° ($\pm 5^\circ$) in group Bi. With both techniques spinal canal encroachment was reduced effectively. There were also no significant differences in operation time and intraoperative blood loss. Concerning the incorporation and fusion of the transplanted iliac crest bone graft better results were obtained tendentially after the monosegmental dorsal fixation.

CONCLUSION: Compared to the bisegmental technique, the monosegmental dorsal fixation and anterior fusion does not raise any disadvantages. Especially reduction of preoperative deformity and correction loss was nearly the same in both groups with no

significant differences. The monosegmental technique has the advantage of short fixation and a tendency for better anterior fusion through the bone graft. With defined entry criterias, the monosegmental dorsal fixation with ventral fusion is an equal technique to the bisegmental „standard method“ in treatment of traumatic burst fractures, which should be more established and more frequently used.

2 Einleitung

Die vorliegende Dissertation stellt den Vergleich zweier gängiger operativer Behandlungsverfahren von traumatisch bedingten instabilen Berstungsfrakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule dar. Zwischen 2005 und 2013 wurden in der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie Homburg/ Saar aus allen Fällen, die aufgrund von thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen operiert wurden insgesamt 47 Patienten nach definierten Eingangskriterien selektiert. Daraus wurden zwei Patientengruppen rekrutiert, welche alle eine dorso-ventrale Stabilisierung mittels dorsaler Fixateur interne-Stabilisierung und ventraler Spondylodese durch kortikospongiösen Beckenkammspan erhalten hatten, jedoch im dorsalen Part durch zwei verschieden lange Fixationen versorgt waren. Bei einer Gruppe war die Wirbelfraktur mittels monosegmentaler Fusion und klassischer bisegmentaler Fixation versorgt worden (Gruppe Bi), während die andere Gruppe, entsprechend der anatomischen Möglichkeit, eine monosegmentale Fusion und monosegmentale Fixation erhalten hatte (Gruppe Mono).

Obwohl es inzwischen zahlreiche Behandlungsoptionen von isoliert ventralen, kombinierten bis isoliert dorsalen Verfahren gibt und sich auch minimalinvasive Verfahren immer mehr durchsetzen [19] bestehen nach wie vor erhebliche Meinungsverschiedenheiten in Hinblick auf die operative Versorgung von Wirbelsäulenverletzungen des thorakolumbalen Übergangs [40]. Während früher häufig langstreckige Instrumentierungen durchgeführt wurden hat sich in den letzten Jahren die möglichst kurzstreckige dorsale Fixation mit ergänzender ventraler Abstützung als Standard in der Versorgung thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen durchgesetzt. Ziel der kurzstreckigen Versorgung ist es möglichst viele Bewegungssegmente in ihrer Funktion zu erhalten. Für einzelne thorakolumbale Berstungsfrakturen hat sich gezeigt, dass eine monosegmentale dorsale Fixierung die gleiche oder sogar bessere Stabilität bringt und dabei mehr Bewegungssegmente erhalten werden können als bei anderen dorsalen Stabilisierungsverfahren [50]. Weitere grundlegende Ziele der operativen Behandlung von Wirbelfrakturen, sind außerdem eine Achswiederherstellung, die Sicherung neuronaler Strukturen und eine Frühmobilisation der Patienten.

Mono-und bisegmentales Fixateur interne-Stabilisierungsverfahren: Indikationen und Vergleich

Betrachtet werden diejenigen Wirbelfrakturen, deren traumatisch zerstörte ventrale Wirbelkörperanteile die spätere lasttragende Funktion nicht gewährleisten und deshalb mit einer ventral zusätzlich abstützenden Maßnahme therapiert werden. Instabile Frakturen, welche nach isoliert dorsaler Stabilisierung und eventuell dorsaler Spondylodese therapiert werden können sind nicht Bestandteil dieser Untersuchung.

Der überaus größere Anteil der operierten Wirbelfrakturen wird durch ein dorsales Implantat mittels Fixateur interne versorgt, welches als Schrauben/Stab System den verletzten Bereich überbrückt. In der Unfallchirurgie hat sich der „ureigene interne Fixateur“ mit transpedikulären Schanzschrauben als Repositionshebel durchgesetzt und etabliert [15]. Üblicherweise werden die Implantatverankerungen transpedikulär in den intakten Wirbelkörpern oberhalb und unterhalb der Fraktur implantiert- es werden somit zwei Segmente überbrückt als bisegmentale Fixation.

Um dorsal eine im Unterschied dazu *monosegmentale* Stabilisierung durchzuführen und damit Bewegungssegmente erhalten zu können, müssen rein praktisch bestimmte Voraussetzungen gegeben sein. Die relative Wirbelkörperhöhe sollte in der Mitte des verletzten Wirbelkörpers mindestens 50 % betragen und der Restwirbelkörper sollte aus gesunder, intakter Knochenstruktur bestehen, um die erforderliche Instrumentierung in den frakturierten Wirbelkörper zu ermöglichen. Diese Voraussetzungen müssen aber auch sowieso für die Technik der ventralen Zusatzversorgung gegeben sein, da zur Abstützung der ventralen Säule ein autologer Span im frakturierten Wirbel implantiert wird (sogenannte ventrale monosegmentale intercorporelle Spanspondylodese). In den Fällen, in welchen die frakturbedingte Wirbelkörperdestruktion mehr als 50% der Wirbelhöhe ausmacht, wird zur vorderen Wirbelsäulenrekonstruktion ein Wirbelkörperersatzimplantat bevorzugt und somit eine ventrale bisegmentale Spondylodese meist notwendig. Diese letzteren Fälle werden für unsere Untersuchung nicht berücksichtigt und ausgeschlossen.

Für die dorsale Stabilisierung werden sowohl in der bisegmentalen als auch monosegmentalen Fixationstechnik die gleichen Fixateur interne Implantate verwendet. Die Verfahren unterscheiden sich lediglich in der Positionierung der Pedikelschrauben. Bei der monosegmentalen dorsalen Fixierung werden die Pedikelschrauben in den frakturierten Wirbelkörper, sowie den cranial benachbarten

Wirbelkörper eingebracht. Bei der bisegmentalen Fixierung hingegen in den cranial und caudal des frakturierten Wirbelkörpers benachbarten gesunden Wirbelkörper. Die operative Gesamtstabilisierung über dorsalen und vorderen Zugang erfolgte in beiden Fällen in einem zweizeitigen Vorgehen. Innerhalb eines Klinikaufenthaltes wurde in der ersten Operation eine dorsale Stabilisierung mittels Fixateur interne durchgeführt. Anschließend erfolgte im zweiten Eingriff eine anteriore Fusion mittels Span.

Operationstechnische Besonderheiten

Bei beiden Operationstechniken erfolgt die Reposition von dorsal - durch Lordosierung und anschließender Distraction und ermöglicht dadurch auch eine indirekte Hinterkantenreposition, welche zur Entlastung des Spinalkanals führt. Jedoch gestaltet sich die Reposition bei der monosegmentalen dorsalen Fixierung anspruchsvoller.

Die dorsale Fixierung wird bei beiden Techniken mittels Schanzschrauben durchgeführt. Operationstechnische Besonderheiten gibt es vor allem bei der monosegmentalen Technik durch die räumliche Nähe der langen Schanzschrauben am cranialen und caudalen Schraubenpaar, die sich regelhaft auch im Situs überkreuzen. Entsprechend betrifft die Problematik insbesondere die Zielrichtung und Konvergenz der caudalen Schanzschrauben. Die Risiken der Wirbelkörper- und Pedikelbeschädigungen beim Einbringen der Schanzschrauben erscheinen bei der monosegmentalen Technik höher als bei der bisegmentalen, da zwei der Schanzschrauben in den bereits vorgeschädigten verletzten Wirbelkörper eingebracht werden und die unterschiedlichen Konvergenzen zu den craniellen Schrauben eingehalten werden müssen.

In beiden Gruppen der dorsalen bi- oder monosegmentalen Fixateur interne-Stabilisierung werden zur anterioren Abstützung autologe Knochentransplantate (Beckenkamm, tricortical) verwendet. Da bei der monosegmentalen Technik im ersten Eingriff bereits Pedikelschrauben im frakturierten Wirbelkörper platziert wurden, ist der Raum im Wirbelkörper für die Verklebung des Knochentransplantats nun relativ gering und die richtige Späneinfaltung gestaltet sich dadurch schwieriger als bei der bisegmentalen Technik. Außerdem besteht die Gefahr, dass der Span deswegen auf den Schanzschrauben aufläuft und verkippt.

Fragestellung

Hinsichtlich der operativen Therapie frischer Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule existieren mehrere verschiedene Operationstechniken. Um den postoperativen Korrekturverlust zu reduzieren wird in vielen Publikationen, insbesondere bei Berstungsfrakturen, zu einer kombiniert dorsoventralen Stabilisierung geraten. Dabei wird eine kurzstreckige dorsale Stabilisierung favorisiert, um möglichst viele Bewegungssegmente in ihrer Funktion zu erhalten. Allerdings wird mit „kurzstreckig“ standardmäßig dorsal die bisegmentale Fixation gemeint und routinemäßig durchgeführt, obwohl technisch auch eine dorsal monosegmentale Fixation möglich wäre. Im Rahmen dieser Studie werden beide Techniken miteinander verglichen und so Vor- und Nachteile herausgearbeitet. Ziel ist es abhängig von den Ergebnissen Empfehlungen bezüglich der Entscheidung, wann eine monosegmentale und wann eine bisegmentale dorsale Fixation durchgeführt werden sollte, geben zu können.

Die retrospektiv angelegte Studie liefert sowohl Frühergebnisse als auch Spätergebnisse nach monosegmentaler anteriorer Fusion bei mono- oder bisegmentaler dorsaler Fixation bei traumatisch bedingten thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen und prüft speziell folgende Vermutungen:

1. Durch die monosegmentale dorsale Fixation kann eine Verkürzung der Operationsdauer erreicht werden.
2. Die transpedikuläre Schraubenplatzierung ist bei der monosegmentalen dorsalen Fixation technisch anspruchsvoller und gelingt somit schlechter als bei der bisegmentalen dorsalen Fixation und das Komplikationsrisiko ist höher.
3. Die dorsale Reposition durch Fixateur interne zeigt bei der standardmäßig durchgeführten bisegmentalen dorsalen Fixation aufgrund des höheren Freiraumes beim Repositionsmanöver über die Schanzschrauben bessere Ergebnisse, sowohl im seitlichen / a.-p. Profil, als auch bei der Hinterkantenreposition, im Vergleich zur monosegmentalen dorsalen Fixation.
4. Aufgrund der Schraubenplatzierung im frakturierten Wirbelkörper bei der monosegmentalen dorsalen Fixation, ist auch die im zweiten Eingriff durchgeführte Spanpositionierung erschwert und eine unerwünschte Spankipfung (v.a. nach dorsal) kann häufiger auftreten.

5. Der im Spätverlauf gemessene Korrekturverlust im Grunddeckplattenwinkel zeigt ähnliche Ergebnisse für die monosegmentale und bisegmentale dorsale Fixation.
6. Im Vergleich zur monosegmentalen dorsalen Fixation ist bei der bisegmentalen dorsalen Fixation eine frühere knöcherne Durchbauung des in der zweiten Operation transplantierten Beckenkammspans zu erkennen, da die Spaneinheilung nicht durch im frakturierten Wirbelkörper liegende Schanzschrauben gestört wird.

3 Grundlagen

Wirbelkörperfrakturen entstehen durch direkte oder indirekte Gewalteinwirkung auf die Wirbelsäule. Dies kann durch äußere Gewalt im Sinne eines Stauchungs-, Flexions-, Extensions- oder Rotationstraumas oder deren Kombination geschehen. Prädilektionsstellen für Frakturen sind dabei die mobilen Abschnitte der Wirbelsäule, wie der Übergang vom stabileren Thorax zur LWS (Th 12 bis L 2) [49]. In einer Multicenteruntersuchung von Reinhold et al. zeigte sich passend dazu, dass 67 % der relevanten Wirbelsäulenverletzungen den thorakolumbalen Übergang betreffen (Th12-L2), 19,8 % den Bereich zwischen Th1 und Th10 und 13,2 % die Wirbelkörper L3-5. Die zwei „klassischen“ in der Literatur am häufigsten beschriebenen Verletzungsursachen sind dabei Stürze aus der Höhe (40–60%) und Verkehrsunfälle (25–40%), also Hochenergie oder Rasanztraumata [48, 49]. Neuere Literaturangaben deuten allerdings darauf hin, dass zukünftig „banale Stürze“ in Bodennähe vermehrt als Unfallursache für traumatische Wirbelsäulenverletzungen zu beobachten sein werden. Die Rate banaler Stürze als Ursache von Wirbelsäulenverletzungen mit neurologischen Ausfällen hat von 16,5% in den 1970er Jahren bis auf 23,8% zwischen 2000 und 2003 zugenommen [49]. Wie auch in der vorliegenden Studie zu sehen, stellen Berstungsfrakturen mit >50% den häufigsten Frakturtyp im Bereich der thorakolumbalen Wirbelsäule dar.

Da es bisher keinen internationalen Goldstandard für die Behandlung thorakolumbalen Berstungsfrakturen gibt, muss die Entscheidung über die Therapie individuell getroffen werden. Entscheidend sind dabei Frakturtyp und Frakturschwere, neurologischer

Status, Zustand des Patienten und Fähigkeiten des Operateurs. Es gibt viele Publikationen und Untersuchungen zu verschiedenen operativen Vorgehen. Eine Publikation aus dem Jahr 2009 zeigte, dass nach kombiniert dorsoventralem Verfahren zur Nachuntersuchung statistisch signifikant weniger kyphotische Fehlstellungen resultierten, als bei der isoliert dorsalen Behandlung. Zusätzlich wurde in dieser Studie auch die isoliert ventrale Stabilisierung von Kompressionsbrüchen (Typ A) mit der kombiniert dorsoventralen Behandlung verglichen. Dabei ergaben sich signifikant größere intraoperative Blutverluste und bessere radiologische Nachuntersuchungsergebnisse (mono- und bisegmentale Grund-Deckplatten-Winkel (GDW) nach kombinierter Behandlung ($p < 0,05$) [17]. Das bisher noch von den meisten Operateuren favorisierte Verfahren bei der dorsalen Stabilisierung ist das Einbringen der Pedikelschrauben in den vom frakturierten Wirbel cranial und caudal benachbarten Wirbel, also eine bisegmentale Instrumentierung. Publikationen und Untersuchungen zeigten jedoch in 9-54% der Fälle ein Implantatversagen, sowie Korrekturverluste und moderate bis starke Schmerzen der Patienten [15]. Inzwischen gibt es immer mehr Studien, die Vorteile in einem monosegmentalen Vorgehen sehen, bei dem die Pedikelschrauben in den frakturierten Wirbel sowie in den cranial benachbarten Wirbel eingebracht werden. Eine Studie von 2012 zeigte ein abnehmendes Implantatversagen und niedrigere Reoperationsraten beim monosegmentalen Verfahren im Vergleich zum herkömmlichen bisegmentalen Verfahren. Trotz auch hier gemessener signifikanter Langzeitkorrekturverluste, zeigten die Patienten in dieser Studie im Langzeitverlauf eine klinische Verbesserung bezüglich der Schmerzen und der Arbeitsunfähigkeit [15].

Operationsindikation

Die operative Versorgung von Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule sollte bei einer Abweichung vom individuellen sagittalen bzw. frontalen Profil der Wirbelsäule erfolgen. Als Richtwert gilt dabei ein Grunddeckplattenwinkel $> 15 - 20^\circ$ bzw. eine AP-Achsabweichung von $> 10^\circ$, da in diesen Fällen unter anderem auch von einer Läsion der dorsalen Bandstrukturen ausgegangen werden kann [60].



Abb. 1: Burstingfraktur auf Höhe BWK 12 a.-p. (Bild links) und sagittal (Bild rechts) mit KW > 20° und Wirbelkörperzerstörung ca. 1/3, Frakturtyp A3.2, Gruppe Bi.

Ein weiteres Kriterium für die Entscheidung zur operativen Therapie und vor allem auch zur ventralen Rekonstruktion stellt die Zerstörung des Wirbelkörpers dar. Bedeutend sind dabei das zerstörte Ausmaß des Wirbelkörpers und die Frakturdislokation, welche mithilfe der Load-Sharing-Klassifikation nach McCormack beschrieben werden. Allgemeine radiologische Richtwerte wie ein Körperwinkel > 20° oder Wirbelkörperkompressionen > 50° (Wirbelkörperhöhe < 50%) werden dabei als operationsbedürftig angesehen. Weitere wichtige Faktoren bei der Therapieentscheidung sind außerdem eine Einengung des Spinalkanals durch knöcherne Fragmente oder Protrusion der Wirbelkörperhinterkante sowie eine Minderung der Höhe der Wirbelkörperhinterkante als Instabilitätskriterium [60].

Indikation zur ventralen Stabilisierung

Neben der Entscheidung zur operativen Versorgung einer Wirbelkörperfraktur, stellt sich die Frage, in welchen Fällen eine ventrale zusätzliche Stabilisierung notwendig ist.

Abbildung 2 zeigt eine frische Berstungsfraktur auf Höhe LWK 1 mit einer Wirbelkörperzerstörung $>1/3$

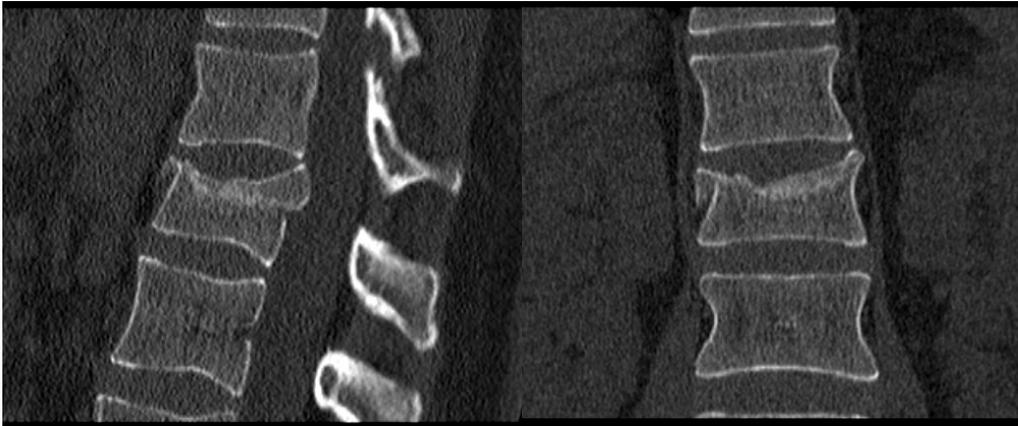


Abb. 2: Berstungsfraktur auf Höhe LWK 1 a.-p. (Bild rechts) und sagittal (Bild links) mit KW $> 20^\circ$ und Wirbelkörperzerstörung $> 1/3$, Frakturtyp A3.1, Gruppe Bi.

Laut einer Studie aus dem Jahr 2011 ist die Indikation zur Rekonstruktion der ventralen Säule nach Verletzungen im thorakalen und lumbalen Bereich gegeben, wenn es im Rahmen der Verletzung zu einer erheblichen kyphotischen Fehlstellung kommt und die benachbarten Bandscheiben destruiert sind. Dies ist in aller Regel bei Berstungsbrüchen gegeben. Speziell für Frakturen vom Typ A3.1 ist im Falle einer Zerstörung des Wirbelkörpers $1/3$ bis $2/3$ die monosegmentale ventrale Rekonstruktion zu empfehlen. Je größer die Separation der Fragmente, desto eher ist die Operationsindikation gegeben. Im Falle einer Zerstörung des Wirbelkörpers $<1/3$ ist die ventrale Rekonstruktion optional [60]. Diese Empfehlung ist vergleichbar mit der Load Sharing Classification von McCormack. Dabei wird in Form eines Punktesystems das Ausmaß der Wirbelkörperzerstörung in $< 30\%$, 30 bis 60% und $> 60\%$ gegliedert. Als weitere Faktoren fließen die Dislokation der Bruchstücke und das Ausmaß der Korrektur mit jeweils maximal 6 Punkten in den Load Sharing Score (LSS) ein. Ab einem Score von 7 ist eine ventrale Rekonstruktion indiziert, da eine alleinige dorsale Stabilisierung für die postoperativen Belastungen des frakturierten Wirbels nicht ausreichend ist [41]. In der Entscheidung, ob das ventrale Vorgehen mono- oder bisegmental durchgeführt wird, spielen Aktivität, biologisches Alter sowie Knochenqualität des Patienten eine wesentliche Rolle. Für eine monosegmentale ventrale Spondylodese spricht, dass dadurch ein Bewegungssegment erhalten wird [20]. Die eventuell bestehende Möglichkeit eines isoliert ventralen Vorgehens sollte

überprüft werden. Zuvor muss das Vorliegen einer Verletzung im dorsalen Bandapparat ausgeschlossen werden, sei es vom Pathomechanismus, der klinischen Untersuchung oder im Zweifel durch Kernspintomografie. Des Weiteren ist eine gute Knochenqualität zu fordern und nach Bedarf mit einer winkelstabilen Platte zu kombinieren [20].

4 Patienten und Methoden

4.1 Studiendesign und Gruppendifinition

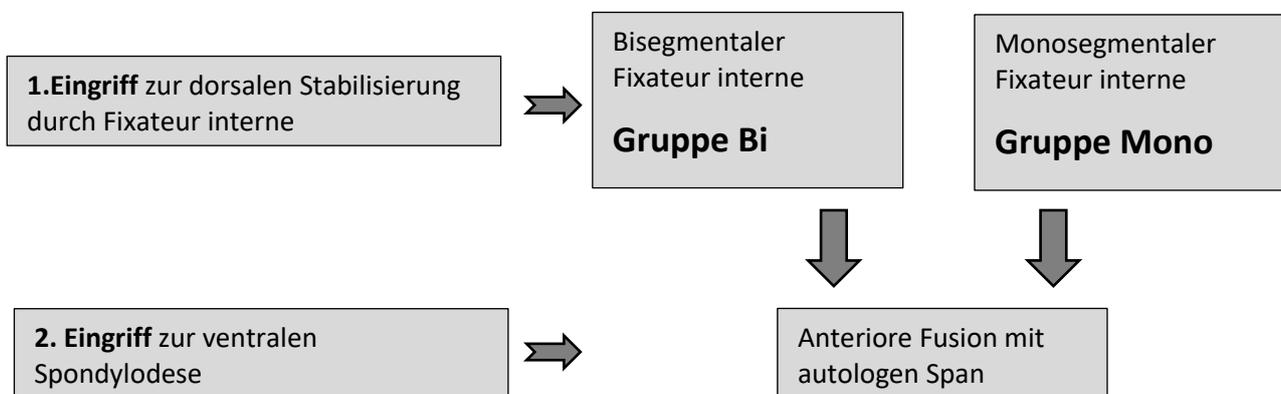


Abb.3: Schema zum Studiendesign der Gruppen Mono und Bi.

Im Zeitraum von 8 Jahren wurden in der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikums des Saarlandes (UKS) operativ versorgte Fälle von Wirbelfrakturen selektiv betrachtet. Retrospektiv wurden aus diesem Zeitraum 47 Patienten rekrutiert welche alle dorsal mit einem Fixateur interne und ventral durch eine monosegmentale Fusion mit trikortikalem Beckenkammspan versorgt wurden. Die Aufteilung in zwei Gruppen erfolgte anhand der unterschiedlichen dorsal erfolgten Instrumentierung. 23 Patienten waren zur dorsalen Stabilisierung mit einem *monosegmentalen* Fixateur interne versorgt worden, die restlichen 24 Patienten mit einem *bisegmentalen* Fixateur interne. Der Vergleich beider Gruppen zielte sowohl auf Früh- als auch Langzeitergebnisse ab und erfolgte anhand klinischer und radiologischer Parameter aus Patientenakten. Da die klinischen und radiologischen Nachkontrollen bei einigen Patienten an auswärtigen Kliniken erfolgt waren, wurden

für die Auswertung der Langzeitergebnisse zum Teil radiologische Daten aus anderen Kliniken und von nachbehandelnden niedergelassenen Kollegen angefordert.

4.1.1 Kriterien für Früh- und Langzeitergebnisse

Der Schwerpunkt der Studie lag auf der Analyse der operativen Durchführung sowie der frühen Behandlungsergebnisse, ergänzt durch Langzeitresultate beider Verfahren. Die Frühergebnisse basieren dabei auf der Auswertung von klinischen und radiologischen peri- und postoperativen Daten. Die Auswertung der Langzeitergebnisse konzentrierte sich auf den Vergleich von bereits vorhandenen radiologischen Daten, die im Rahmen von Nachkontrollen ermittelt worden waren.

4.1.2 Einschlusskriterien

- frische traumatische thorakolumbale Wirbelsäulenverletzung (< 2 Wochen ab Unfall)
- Volljährigkeit
- Alter ≤ 60 Jahre
- A3-Frakturen sowie Frakturen vom Typ B und C (nach AO-Klassifikation) mit Berstung des Wirbelkörpers (äquivalente A3-Komponente)
- relative mittige Frakturwirbelkörperhöhe ≥50%

4.1.3 Ausschlusskriterien

- Pathologische Fraktur
- Patienten mit Osteoporose/ -penie
- Relevante einschränkende Begleiterkrankungen
- Einsatz von Wirbelkörperersatzimplantaten

4.2 Operation

Anhand der oben genannten Kriterien wurden zwei vergleichbare Patientengruppen rekrutiert, die aufgrund der gleichen Ein- und Ausschlusskriterien mit jedem der beiden zu vergleichenden Operationsverfahren hätten behandelt werden können. Bei allen Patienten unserer Studie wurde der USS-Fixateur interne von Synthes verwendet. In beiden Gruppen wurde der Eingriff zweizeitig durchgeführt. Zuerst erfolgte die dorsale Stabilisierung und dann einige Tage später, abhängig vom Zustand des Patienten

(Erholung, Begleitverletzungen), in einer zweiten Operation, die ventrale Spondylodese des verletzten Segments.

4.2.1 Erster operativer Eingriff: Dorsale Instrumentierung

Die Operationsmethode des dorsalen Eingriffs beruht auf der dorsalen Stabilisierung, welche je nach Patientengruppe durch einen monosegmentalen oder bisegmentalen Fixateur interne erreicht wird. Das Implantat basiert auf dem Schanzschrauben-Winkelbackensystem und besteht entsprechend aus zwei Längsträgern welche winkelstabil über Frakturbacken mit transpedikulär eingeführten Schanzschrauben verbunden werden. Die Vorzüge dieses Implantats liegen unter anderem bei der Möglichkeit, subtile Repositionsmanöver durchzuführen, vor allem der Lordosierung über die Hebelarme der Schanzschrauben, der Ligamentotaxis über das Distraktionsmanöver und der indirekten Hinterkantenreposition. Das verwendete Implantat beruht auf dem Fixateur interne-System nach Dick [15] und kann mono-, meist bi- aber auch multisegmental angebracht werden.

Im Unterschied zum bisegmentalen Verfahren, werden beim monosegmentalen Verfahren nicht die dem frakturierten Wirbel direkt cranial und caudal benachbarten intakten Wirbelkörper über die Längsträger verbunden, sondern der verletzte Wirbelkörper mit einem benachbarten Wirbelkörper, dabei wird nur ein verletztes Bewegungssegment miteinbezogen. Bei den meist cranialen Berstungsfrakturen kann der frakturierte Wirbelkörper und cranial benachbarte Wirbelkörper stabilisiert werden. Bei den seltener auftretenden caudalen Berstungsfrakturen erfolgt die monosegmentale Fixierung in umgedrehter Richtung.

Indikationen für eine posteriore Instrumentierung mittels USS- Fixateur interne sind instabile Frakturen im Bereich der thorakalen, lumbalen und lumbosakralen Wirbelsäule und Frakturen, die mit einer nicht akzeptablen Deformität einhergehen. Gemäß Herstellerangaben fallen Infektionen, Tumoren, posttraumatische Deformitäten sowie eine Spondylolisthesis auch in das Indikationsspektrum, sind jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Diskoligamentäre Risse und vorangegangene Laminektomien stellen keine Kontraindikation dar. Grenzindikationen sind laut Hersteller Instrumentalisierungshöhen oberhalb von Th 6, da die geringe Pedikelgröße in diesem Bereich nicht mehr gut mit dem Schanzschraubendurchmesser von mindestens 5 mm vereinbar ist.

Lagerung und Reposition

Der dorsale Eingriff erfolgte in Bauchlage. Dabei musste auf eine gute Polsterung aller Körperbereiche geachtet werden. Durch dickere Auflagen im Schultergürtel- und Beckenbereich wurde ein Aushang erzielt, wodurch zumindest teilweise bereits eine Reposition der kyphotischen Frakturstellung erreicht werden konnte und daneben eine freie Bauchatmung des Patienten gewährleistet war. Die Komplettierung der Reposition erfolgte später durch das Implantat durch weitere Lordosierung und ggf. nachfolgende Distraction zur indirekten Hinterkantenreposition, welche unter anderem durch Ligamentotaxis bei intaktem hinterem Längsband erreicht wurde (Abb. 3).

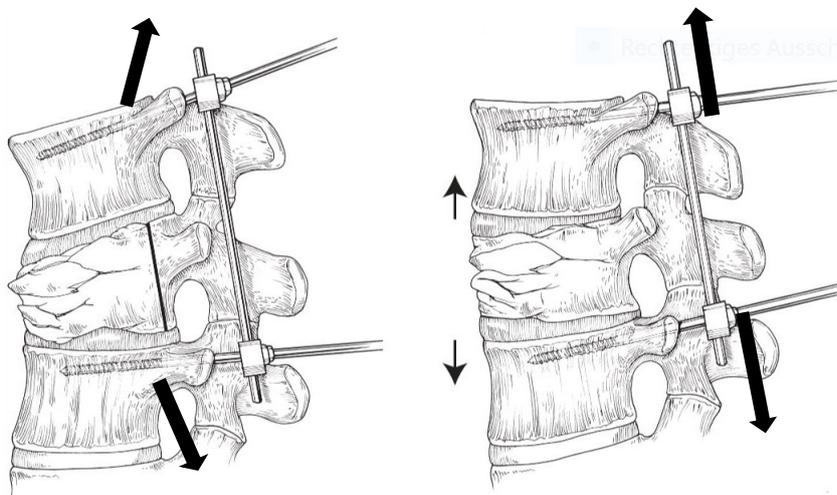


Abb. 3: Indirekte Reposition durch Lordosierung und Distraction. Ligamentotaxis und ein gespannter Anulus fibrosus unterstützen zusätzlich [64].

Die folgende Abbildung zeigt den axialen Schnitt eines frakturierten Wirbelkörpers vor und nach indirekter Reposition mittels Distraction und Ligamentotaxis.



Abb. 4: BWK 12 Berstungsfraktur vor und nach indirekter Hinterkantenreposition über Ligamentotaxis.

Unter Durchleuchtungskontrolle wurde der verletzte Wirbel identifiziert, der Zugang angezeichnet und nach sterilem Abdecken erfolgte die mediane Hautinzision direkt über den Dornfortsätzen.

Präparation des Zugangs

Die monosegmentale Stabilisierung unterschied sich bei der Präparation und Schraubenplatzierung von der bisegmentalen Stabilisierung, da nur ein Bewegungssegment beteiligt war und so der operative Zugangsweg mit geringerem präparativen Aufwand und weniger Traumatisierung des Gewebes verbunden war. Der Hautschnitt konnte kleiner gewählt werden und die Freilegung der Pedikeleintrittsstellen und Laminae war kurzstreckiger. Das subperiostale Präparieren der autochthonen Rückenmuskulatur von den Dornfortsätzen bis auf die Wirbelbögen, wodurch bereits ein Bett für die Längsträger geschaffen wurde, konnte auf das Aufsuchen zweier Zwischenwirbelgelenke begrenzt werden, in deren Nachbarschaft die Pedikeleintrittsstellen für die Schraubenplatzierung lagen.

Schraubenplatzierung

Durch das Einbringen von gekürzten Kirschnerdrähten an die vorgesehenen Pedikeleintrittsstellen, konnte die Durchleuchtungskontrolle in 2 Ebenen erleichtert werden. Nach Lokalisation der Pedikel erfolgte die Kortikaliseröffnung mittels Pedikelpfriem. Die transpedikuläre Vertiefung im Verlauf des Pedikels wurde durch stumpfes Aufreiben mit der Ahle präpariert und so der Pedikellinnenraum, durch den

geschaffenen Kanal, für die Aufnahme der Schrauben vorbereitet. Zur Überprüfung des korrekten intraossären Verlaufs wurde der Kanal ertastet.

Danach erfolgte das Einsetzen der vier Schanzschrauben unter Durchleuchtung (Abb. 5) und Dokumentation des korrekten Verlaufs der Schraube im Pedikel (a.-p., seitlich, orthograd). Wichtig war das korrekte intraossäre Platzieren der Schrauben in adäquater Konvergenz und ohne Knochendurchbruch nach intraspinal, vor oder neben den Wirbelkörper (Abb. 6).



Abb. 5: Intraoperative Durchleuchtungskontrolle der Schraubenlage eines bisegmentalen Fixateur interne.

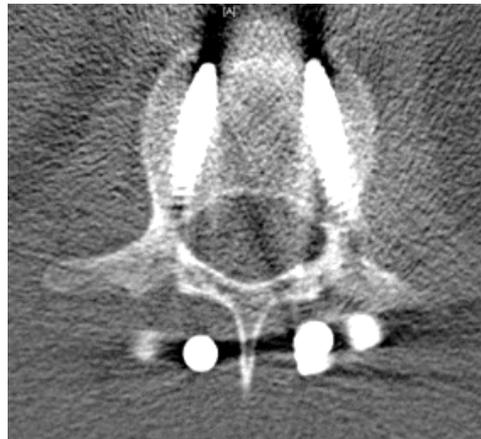


Abb. 6: Axiale CT-Aufnahme postoperativ. Intraossäre Pedikelschraubenlage mit adäquater Konvergenz.

Sowohl beim bisegmentalen als auch beim monosegmentalen Verfahren wurden die Schanzschrauben im oberen Wirbelkörper parallel zur Deckplatte eingebracht. Beim bisegmentalen Verfahren wurden die unteren Schrauben in den caudal des frakturierten Wirbelkörpers gelegenen Wirbel gezielt (Abb.7), während die Schrauben

beim monosegmentalen Vorgehen direkt in den frakturierten Wirbel von schräg cranial dorsal nach caudal ventral in Richtung der unteren Vorderkante gezielt wurden (Abb.8). Dieser schräge Verlauf der Schrauben war notwendig um die Berstungszone im frakturierten Wirbel zu meiden. Aufgrund dieser Besonderheit mussten die Eintrittsstelle, der Neigungswinkel des transpedikulären Kanals und der Verlauf des Kanals im caudalen Wirbelkörper daran angepasst werden. Außerdem mussten die Schrauben mit verstärkter Konvergenz eingebracht werden, um bei dem Repositionsmanöver an den cranialen Schanzschrauben vorbeikreuzen zu können und nicht zu kollidieren. Das unproblematische Vorbeikreuzen der beiden caudalen an den cranialen Schanzschrauben wurde durch ein unterschiedliches Ausmaß an Konvergenz gewährleistet. Die Tatsache, dass die Schrauben beim monosegmentalen Verfahren direkt in den frakturierten Wirbelkörper eingebracht werden und die daraus resultierenden Besonderheiten der Zielrichtung der caudalen Schrauben sowie die zu beachtende unterschiedliche Konvergenz machen die transpedikuläre Schraubenplatzierung beim monosegmentalen Verfahren anspruchsvoller als beim konventionellen bisegmentalen Verfahren.



Abb. 7: Frontale (Bild links) und sagittale (Bild rechts) Röntgenaufnahme postoperativ mit bisegmentalen Fixateur interne.

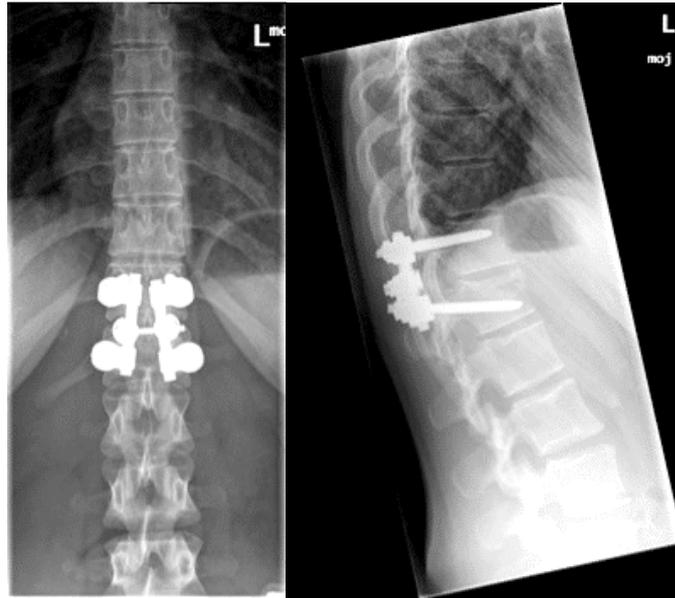


Abb. 8: Frontale (Bild links) und sagittale (Bild rechts) Röntgenaufnahme postoperativ mit monosegmentalen Fixateur interne.

Reposition

Wie oben erwähnt wurde ein gewisser Teil der Reposition bereits durch die Lagerung erzielt. Wesentlich ist aus geometrischen Gründen zuerst die Lordosierung und gegebenenfalls erst darauffolgend eine Distraction durchzuführen. Die Lordosierung erfolgte mithilfe der Hebel der Schraubenschlüssel an den Schanzschrauben über die kippbaren Backen (Winkelfreiheit $\pm 18^\circ$). Unter der Lordosierung wurden die Schrauben und Frakturbacken fixiert. Bei Frakturbeteiligung der Hinterkante musste das Lordosierungsmanöver aufgrund der Hypomochlion-Wirkung wie folgt angepasst werden. Um nicht ein Zerdrücken des verletzten Wirbels und die Verschiebung eines Hinterkantenfragments nach dorsal zu verursachen, mussten die Schanzschrauben an den Längsträgern (Stäben) festgestellt werden (über die Frakturbacken, die bei instabiler Hinterkante dann als Hypomochlion dienen).

Sofern erforderlich erfolgte nach der Lordosierung eine Distraction des frakturierten Wirbels mithilfe einer Distractionzange unter Durchleuchtungskontrolle. Eine Überdistraction sollte vermieden werden, da dies einerseits eine unphysiologische Spannung auf die Bindegewebsstrukturen auslösen kann und andererseits neuronale Strukturen überdehnt werden können. Eine Orientierung dafür kann der Abstand der benachbarten Segmente geben. Auch diese Repositionsmaßnahme ist bei monosegmentaler Instrumentierung aufgrund der vorherrschenden Enge erschwert und unter Umständen unvollständig möglich.

Durch ein gedecktes Repositionsmanöver, zum einen durch die Lagerung als auch durch das Implantat, konnte eine indirekte Hinterkantenreposition erzielt werden, wodurch eine offene Spinalkanalrevision im Falle einer frakturbedingten oder verbliebenen Spinalkanalstenose häufig vermieden werden konnte. Die indirekte Hinterkantenreposition ist ein Phänomen, das auf der Ligamentotaxis bei intaktem Ligamentum longitudinale posterior und teilweise auf einem Vakuumeffekt durch den aufgerichteten Wirbelkörper beruht.

4.2.2 Zweiter operativer Eingriff: Ventrale Spondylodese

Die ventrale Spondylodese erfolgte bei beiden Patientengruppen der vorliegenden Untersuchung monosegmental mittels autologer Beckenkammspan-Interposition.

Lagerung und Zugang

Für den ventralen Eingriff wurden die Patienten in Seitenlage gebracht mit Vier-Punkt-Abstützung und Aufklappen des Tisches auf Zugangshöhe. Danach wurde der zu instrumentierende Wirbel mittels Bildwandler eingestellt und das Operationsfeld steril abgedeckt. Der Zugang zur Wirbelsäule erfolgte abhängig von der Frakturhöhe im Bereich Th10-L2 thorakoskopisch oder durch eine linksseitige Thorakotomie, im Bereich L2-L5 war eine Mini-Lumbotomie oder konventionell offene linksseitige Lumbotomie erforderlich.

Vorbereitung der Span-Empfängerstelle

Wesentlich für die erfolgreiche Span-Interposition war eine gute Vorbereitung der Empfängerstelle. Voraussetzung hierfür war eine saubere Entfernung sämtlichen Bandscheibengewebes, da sonst eine mechanische Barriere bestand und potenziell eine inflammatorische Reaktion ausgelöst werden konnte, welche das Fusionsergebnis gefährdete. Begonnen wurde zunächst mit der Segmentausräumung um eine frühzeitige Knochenblutung zu vermeiden. Nach der Bandscheibenentfernung erfolgte dann das Anfrischen und Entknorpeln der cranialen Endplatte bis zur Kapillarblutung. Die Randzonen der Endplatte cranial wurden mit einem Meißel begradigt und somit spongiös eröffnet. Nach caudal wurde das Spanbett in Form einer Nut schrittweise ausgemeißelt. Wenn nicht explizit die Hinterkante ausgeräumt werden musste, wurde darauf geachtet einen Sicherheitsabstand zum Spinalkanal zu wahren und sämtliche Hebelwirkungen an frakturierten Hinterkanten zu unterlassen. Die

spätere axiale Spankompression wurde durch die Wahrung der Achsenneigung im Lot des ausgearbeiteten Spanbetts begünstigt. Anhand präoperativer Aufnahmen wurden die Maße des Spanbetts abgeschätzt. Für eine spätere zentrale Lage des Transplantats sorgte die Tiefenausschachtung nach kontralateral, wobei die kontralaterale Wand nicht durchstoßen wurde. Die Sicherheitsabstände zur Aorta und zum Spinalkanal wurden durch Kenntnis der Dimensionen ventrodorsal und durch Abschätzen anhand der CTs eingehalten.

Beckenkammspan-Interposition

Intraoperativ erfolgte das definitive Abmessen der notwendigen Spanlänge. Zur Sicherheit und aufgrund von Sägeverlusten wurde 1 Millimeter dazugerechnet. Um eine ausreichende Spanbreite im Verhältnis zum Wirbelkörper zu gewährleisten wurde ein Span vom breitesten Areal (Bereich des Tuberculum iliacum) an der Crista iliaca in üblicher Weise entnommen.

Der gereinigte Beckenkammspan wurde dann in korrekter Ausrichtung und mit der spongiösen Seite voran in die vorbereitete Nut „pressfit“ eingefalzt. Die Spaneinlage erfolgte so, dass eine gute Kompression erreicht wurde (Rütteltest) und der Defekt durch das Knochentransplantat ausgefüllt wurde. Ein anterolaterales Zusatzimplantat wurde in diesen Fällen nicht notwendig und nicht routinemäßig eingesetzt.

Folgende Abbildungen (a und b) zeigen Beispiele von sagittalen Röntgenaufnahmen nach Beckenkammspan-Interposition und bereits erfolgter bisegmentaler (a) bzw. monosegmentaler (b) dorsaler Stabilisierung.

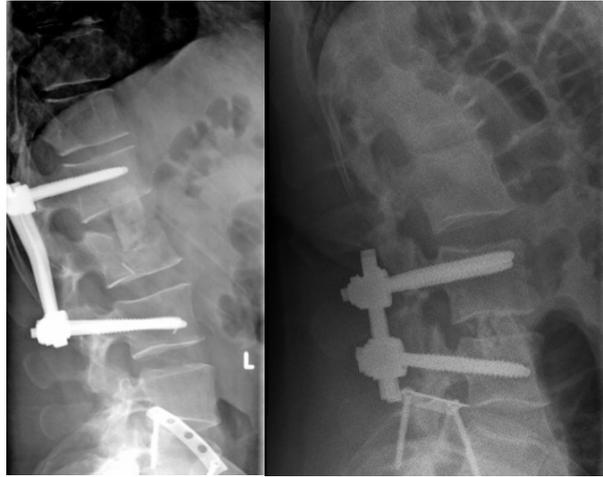


Abb. 9: Sagittale Röntgenaufnahmen nach Beckenkammspan-Interposition und bereits erfolgter dorsaler Stabilisierung mit bisegmentalen (Bild links) bzw. monosegmentalen (Bild rechts) Fixateur interne.

4.2.3. Postoperative Nachbehandlung

Die stationäre postoperative Nachbehandlung der Patienten bestand aus regelmäßigen Wundkontrollen, neurologischen Funktionsprüfungen, dem Entfernen der Thoraxdrainage und Röntgenkontrollen des Thorax. Außerdem wurde für eine sichere Thromboseprophylaxe und Analgesie gesorgt. Die Mobilisation der Patienten erfolgte unter physiotherapeutischer Anleitung und eine adaptierte Physiotherapie (Triflow Atemgymnastik, Kreislaufgymnastik) mit anschließender Mobilisation aus dem Bett sowie Mobilitäts- und Alltagstraining unter Vermeidung starker Rotation und Flexion des Rumpfes wurde durchgeführt. Zur bildgebenden Diagnostik wurden nach klinikeigenem Standard Röntgen-Stellungsaufnahmen postoperativ und ein postoperatives CT zur Schrauben, Span und Spinalkanalbeurteilung angeschlossen.

4.3 Datenerhebung

Die Erhebung allgemeiner und operationsbezogener Patientendaten erfolgte anhand elektronischer Patientenakten aus der klinikinternen Datenverarbeitungssoftware und anhand von extern angeforderten Patientenakten.

Messungen und Datenerhebungen aus radiologischen Bildgebungen (CT- und Röntgenaufnahmen) wurden aus dem klinikeigenen PACS entnommen und mithilfe einer medizinischen Bilddatenmanagementsoftware (DICOM-viewer K-PACS V 1.6.0) analysiert. Diese umfassten die Frakturklassifikation und -lokalisierung, Beurteilung von Schrauben, Span und Spinalkanal, Winkelmessungen und Messungen von Abständen

und relativen Höhen. Für das Datenmanagement wurden Excel-Tabellen erstellt in denen alle relevanten Variablen erfasst wurden.

Hinsichtlich der Analyse radiologischer Bildgebungen zum Zeitpunkt der Erstversorgung sowie im Bereich der Langzeitergebnisse musste wie oben bereits erwähnt teilweise auf externes Bildmaterial zurückgegriffen werden, sofern die Röntgenbilder und Computertomogramme nicht im UKS aufgenommen wurden.

4.3.1 Aufnahme- und Patientendaten inkl. Allgemeiner demographische Daten

Um den allgemeinen Behandlungsverlauf beider Gruppen analysieren zu können, war es nötig relevante Aufnahme- und Patientendaten zu erfassen.

Folgende Variablen wurden berücksichtigt: Alter, Geschlecht, Begleiterkrankungen, Begleitverletzungen, neurologische Ausfälle, erstversorgendes Krankenhaus, Diagnosen, Frakturlokalisierung und -klassifikation nach AO.

Auch von Interesse waren die zeitlichen Umstände vor und während des Aufenthaltes im Universitätsklinikum. Erfasst wurde in Tagen:

1. Dauer von Unfalltag bis Verlegung ins UKS
2. Dauer von Unfalltag bis OP
3. Daraus rechnerisch: Dauer von Aufnahme im UKS bis OP
4. Aufenthalt auf Intensivstation
5. Dauer des stationären Aufenthaltes

4.3.2 Spezielle klinische Daten in Zusammenhang mit den Operationen

Die mit den Operationen zusammenhängenden Daten umfassten: Operationsverfahren (endoskopisch, mini-open, offen), Operationsdauer (es wurde die Dauer des dorsalen und des ventralen Eingriffs erfasst und daraus rechnerisch die gesamte Operationsdauer, zusätzliche andere intraoperative Frakturbehandlungen außerhalb der hier Untersuchten wurden jeweils abgezogen), geschätzter Blutverlust, Bedarf an Erythrozytenkonzentraten, neurologische Ausfälle und Komplikationen.

4.3.3 Radiologische Daten

4.3.3.1 Präoperative Daten (Röntgenbilder und CT nach dem Unfall)

- Lokalisation der Fraktur, Lokalisation der operierten Wirbelkörper
- Frakturklassifikation nach der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese AO, Einteilung durch drei Untersucher mit Reevaluation bei nicht konkordanter Einteilung
- McCormack Klassifikation (Load Sharing Score), eingeteilt durch zwei Untersucher mit Reevaluation bei nicht konkordanter Einteilung

4.3.3.2 Prä-und postoperativ erhobene radiologische Parameter

Zur Messung der Grunddeckplattenwinkel (a.-p. und seitlich) und des Körperwinkels mussten definierte Wirbelkörperendplatten definiert werden.

- Monosegmentaler Grunddeckplattenwinkel (GDW 1) seitlich: Winkel zwischen der Grundplatte des frakturierten Wirbelkörpers und der Deckplatte des cranial benachbarten Wirbelkörpers in seitlicher Projektion.
- Monosegmentaler Grunddeckplattenwinkel (GDW 1) a.-p.: Winkel zwischen der Grundplatte des frakturierten Wirbelkörpers und der Deckplatte des cranial benachbarten Wirbelkörpers in anterior-posteriorer Projektion.

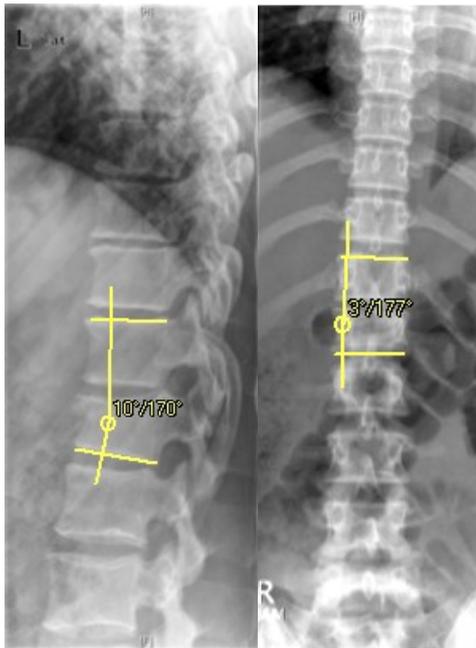


Abb.10: Monosegmentaler Grunddeckplattenwinkel sagittal (Bild links) und anterior-posterior (Bild rechts)

- Bisegmentaler Grunddeckplattenwinkel (GDW 2) seitlich: Winkel zwischen der Grundplatte des dem frakturierten Wirbelkörper caudal benachbarten Wirbelkörpers und der Deckplatte des dem frakturierten Wirbelkörper cranial benachbarten Wirbelkörpers in seitlicher Projektion.
- Bisegmentaler Grunddeckplattenwinkel (GDW 2) a.-p.: Winkel zwischen der Grundplatte des dem frakturierten Wirbelkörper caudal benachbarten Wirbelkörpers und der Deckplatte des dem frakturierten Wirbelkörper cranial benachbarten Wirbelkörpers in anterior-posteriorer Projektion.

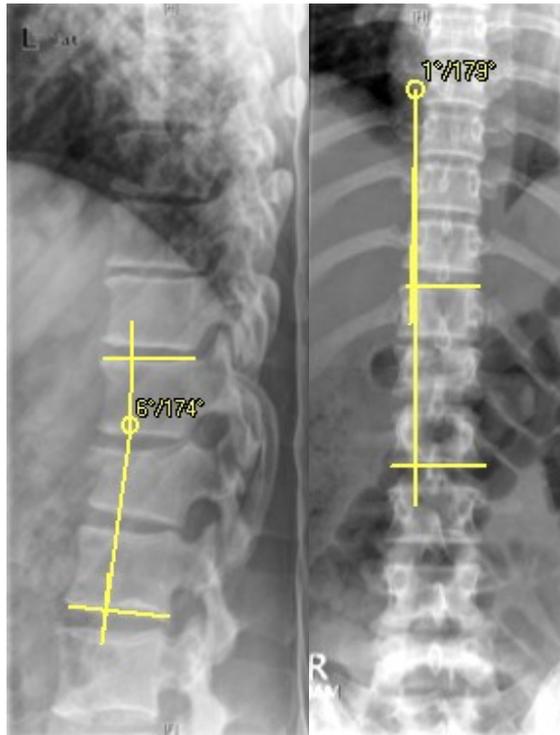


Abb. 11: Bisegmentaler Grunddeckplattenwinkel sagittal (Bild links) und anterior-posterior (Bild rechts)

- Körperwinkel (KW) oder „Keilwinkel“: Winkel zwischen Grund-und Deckplatte des frakturierten Wirbelkörpers.



Abb.12: Körperwinkel

Winkel wurden jeweils bei Kyphose oder linkskonvexer Seitneigung mit negativem Vorzeichen angegeben.

Beurteilung des Spinalkanals und der relativen Wirbelkörperhöhe:

- Spinalkanalweite der Restoffenheit des Spinalkanals („S“) in Prozent:

$$S = \frac{s}{\frac{1}{2}s_1 + s_2} \times 100 \%$$

Quotient aus sagittalem Spinalkanaldurchmesser in Frakturhöhe an engster Stelle („s“) und Mittelwert der Durchmesser der darüber („s1“) und darunter („s2“) befindlichen äquivalenten Wirbelkörperregionen. Bei unzureichendem Bildmaterial wurde der Durchmesser des Spinalkanals in Frakturhöhe in Relation zu dem dort vermuteten Ursprungsdurchmesser gesetzt. Aus der Subtraktion des Quotienten von 1 ergibt sich die Einengung des Spinalkanals.

- Relative Höhe („V“) in Prozent:

$$V = \frac{v}{\frac{1}{2}(v_1 + v_2)} \times 100 \%$$

Quotient aus ventraler Höhe des verletzten Wirbelkörpers („v“) und Mittelwert der ventralen Wirbelkörper-Höhen ober- („v1“) und unterhalb („v2“) des verletzten Wirbelkörpers.

- Relative Höhe mittig („M“): s.o. jedoch bezogen auf die Mitte des Wirbels.
- Relative Höhe dorsal („D“): s.o. jedoch bezogen auf die Hinterkante des Wirbels.

4.3.3.3 Postoperative radiologische Daten (Röntgenbilder/ CT-Bilder postoperativ ausgewertet)

Die Aufnahmen erfolgten in der Regel am stehenden Patienten.

- Korrekturumfang des GDW mono- und bisegmental (seitlich und a.-p.) in Grad: GDW mono und bi postoperativ abzüglich GDW mono und bi präoperativ.
- Korrekturumfang des Spinalkanal: Spinalkanalweite postoperativ abzüglich Spinalkanalweite präoperativ.

- Beurteilung und Klassifizierung der Pedikelschraubenlage des Fixateur interne nach Zdichavsky (Tabelle 1).

Tabelle 1: Klassifikation der Pedikelschraubenlage nach Zdichavsky Grad 1a bis 3b aus „Intraoperative Kontrolle der Pedikelschraubenposition mittels 3-D-Bildwandler (...)“ zitiert nach Beck [13]. PSD=Pedikelschraubendurchmesser

Grad	Kriterien der Pedikelschraubenklassifikation
Ia	≥ Hälfte PSD im Pedikel ≥ Hälfte PSD im Wirbelkörper
Ib	≥ Hälfte PSD lateral außerhalb des Pedikels und > Hälfte PSD im Wirbelkörper
IIa	≥ Hälfte PSD im Pedikel und > Hälfte PSD lateral außerhalb des Wirbelkörpers
IIb	> Hälfte PSD im Pedikel und Pedikelschraubenspitze kreuzt die Wirbelkörpermitte
IIIa	> Hälfte PSD lateral außerhalb des Pedikels und > Hälfte PSD lateral außerhalb des Wirbelkörpers
IIIb	> Hälfte PSD medial außerhalb des Pedikels und Pedikelschraubenspitze kreuzt die Wirbelkörpermitte

- Spanachse: Winkel des Spans zur Wirbelsäulenachse bzw. der Vertikalen im Sagittalbild der Wirbelsäule; es erfolgte die Einteilung in drei Gruppen (Gruppe 1: 0° bis 5°, Gruppe 2: 5° bis 10°, Gruppe 3: >10°) 0° bis 6° wurde als Idealachse definiert, da eine Abweichung von ± 5° kaum relevant oder klinisch merkbar ist bei einer Messungenauigkeit von ± 1°.
- Spanposition: Position des Spans anhand des in Drittel gegliederten Wirbelkörpers (ventral, mittig und dorsal).

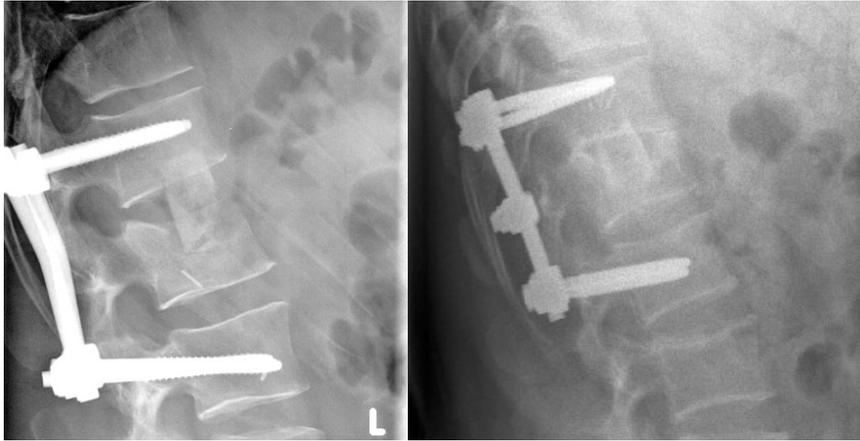


Abb.13: Beispiel ventral-mittige (Bild links) und mittige (Bild rechts) Spanposition in sagittalen Röntgenaufnahmen.

4.3.3.4 Radiologische Daten \geq 6 Monate postoperativ (Röntgen- und CT-Bilder von Nachuntersuchungen)

Die Aufnahmen erfolgten in der Regel am stehenden Patienten.

- Korrekturumfang des mono- und bisegmentalen GDW (a.-p. und sagittal) in Grad: GDW mono und bi Langzeitverlauf abzüglich GDW mono und bi postoperativ.
- Beurteilung der knöchernen Fusion des Beckenkammspans: als vollständige Fusion wurde eine lückenlose knöcherne Überbrückung der angrenzenden Bandscheibenfächer ohne Nachweis strahlentransparenter Areale zwischen Transplantat und unmittelbar benachbarter Grund- und Deckplatte gewertet.

4.4 Statistische Auswertung

Zum Zweck der Analyse wurden die hier genannten Daten zunächst in Excel-Tabellen erfasst. Die Einteilung der Tabellen erfolgte in allgemeine Daten, spezielle Daten, radiologische Daten und Daten die sich speziell auf die Spätergebnisse bezogen.

Mithilfe von Excel wurden alle statistisch relevanten Werte (Mittelwert, Standardabweichung, Median, Streuung (Minimum bis Maximum), Quantile 25 bis 75%) berechnet und danach unter Verwendung der Software „GraphPad Prism 6“ (Graphpad Software Inc.) graphisch dargestellt (in Form von Diagrammen und

Boxplots). Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms „SigmaStat 3.5“ (Systat Software GmbH). Das Signifikanzniveau wurde auf maximal $p < 0,05$ definiert.

Folgende standardisierte Tests, inklusive Prüfung auf Normalverteilung, wurden angewendet:

- t-test bei unabhängigen Stichproben mit Normalverteilung
- paired t-Test bei abhängigen, verbundenen Stichproben mit Normalverteilung
- Mann-Whitney-U-Test bei unabhängigen Stichproben, die nicht normalverteilt sind

4.4.1 Poweranalyse

Berechnung der Gruppengröße anhand G*Power 3.1.9.2 (Power-Analyse) [website a.d. Internet Universität Düsseldorf]

A priori ausgehend von Effektstärken am Beispiel der Repositionsumfänge im GDW und Spinalkanal: Angenommen werden dann klinische Relevanzen, wenn die Repositionsumfangsunterschiede an Grund-Deckplatten-Winkeln (GDW) von 5° vs. 10° bei einer Standardabweichung von 5 entstehen würden. Desgleichen wären relevante Repositionsunterschiede im Spinalkanal, wenn 20% vs. 10% Stenosierung reduziert werden bei einer Standardabweichung von 10.

Cohens´d als Effektstärke:

Maß für den relevanten Unterschied, der zu erwarten ist. Unterschiede darunter gelten als unerheblich und als irrelevant.

$$d = (\text{Mittelwert 1} - \text{Mittelwert 2}) / \text{Stabw}$$

Ermittelt wird somit mit einer Effektstärke von 1.0 ($d=1.0$)

Protokoll G*Power

t tests - Means: Difference between two independent means (two groups)

Analysis: A priori: Compute required sample size

Input:	Tail(s)	=	Two
	Effect size d	=	1.0
	α err prob	=	0.05
	Power ($1-\beta$ err prob)	=	0.80
	Allocation ratio N2/N1	=	1
Output:	Noncentrality parameter δ	=	2.9154759
	Critical t	=	2.0369333
	Df	=	32
	Sample size group 1	=	17
	Sample size group 2	=	17
	Total sample size	=	34
	Actual power	=	0.8070367

Anhand der Berechnung aus G*Power resultiert bei einem β -Fehler von 20% und einer Irrtumswahrscheinlichkeit α eine notwendige Gruppengröße von jeweils 17 Patienten pro Gruppe, welche in unserem Studiendesign mit den erfassten 23 Patienten pro Gruppe aus Sicherheitsgründen weit überschritten ist.

5 Ergebnisse

5.1 Die Behandlungsgruppen

Das Patientenkollektiv umfasste 47 Patienten. Davon befanden sich 23 Patienten in der Gruppe mit monosegmentaler dorsaler Stabilisierung (Gruppe Mono) und 24 Patienten in der Gruppe mit bisegmentaler dorsaler Stabilisierung (Gruppe Bi). Beide Gruppen erhielten zusätzlich eine ventrale Spondylodese.

5.1.1 Eigenschaften des Patientenkollektivs

Zum Zeitpunkt der Behandlung lag das Alter der Gruppe Mono im Median bei 43 Jahren mit einer Spanne von 20 bis 64 Jahren. Die Gruppe Bi umfasste Patienten mit einer Altersspanne zwischen 18 und 68 Jahren, der Median lag hier bei 34,5 Jahren.

Die Geschlechterverteilung war in beiden Gruppen mit 13 Frauen und 10 Männern in der Gruppe Mono und 11 Frauen und 13 Männern in der Gruppe Bi ausgeglichen.

5.1.2 Frakturklassifikationen

Im Patientenkollektiv beider Gruppen waren Frakturen unterschiedlicher Schwere vertreten. Im Folgenden ist die prozentuale Verteilung der Frakturtypen (nach AO klassifiziert) in der Gruppe Bi und Gruppe Mono dargestellt, sowie die Einteilung der Patienten je Gruppe anhand der McCormack Load-Sharing Klassifikation.

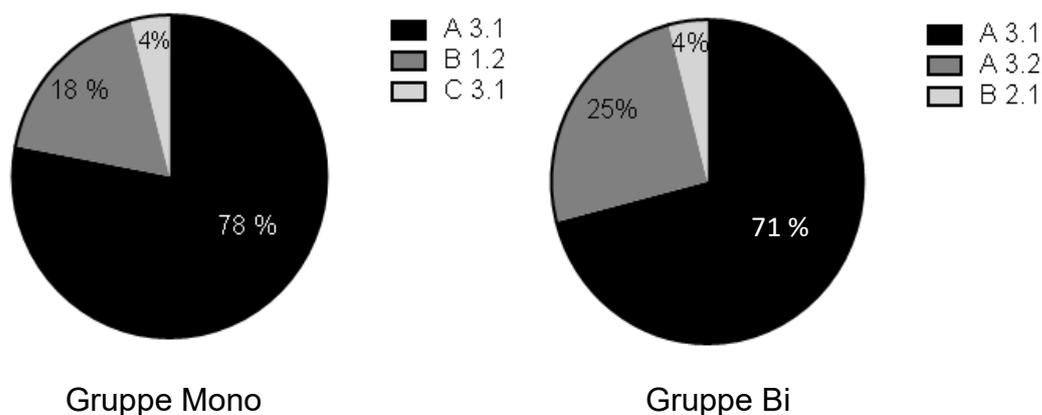


Abb. 14: Frakturklassifikation nach AO in der Gruppe Mono (Bild links) und Gruppe Bi (Bild rechts).

In beiden Gruppen waren mehrheitlich Berstungsfrakturen vom AO-Typ A3.1 vertreten. In der Gruppe Mono gab es neben 18 Typ A3.1 Frakturen noch 4 Typ B 1.2 Frakturen sowie 1 Fraktur vom Typ C3.1. Im Gegensatz dazu fanden sich in der Gruppe Bi, bis auf eine Typ B2.1 Fraktur, nur Typ A Frakturen, davon gehörten 17 zum Typ A3.1 und 6 zum Typ A3.2.

Bei Betrachtung der McCormack Load-Sharing Klassifikation (Abb.13) fand sich ein Häufigkeitsgipfel in beiden Gruppen bei 7 Punkten (± 1) und Mittelwert sowie Median lagen in beiden Gruppen auch bei 7 Punkten. In der Gruppe Mono war die Streuung mit 4 bis 9 Punkten ähnlich der Gruppe Bi mit einer Streuung von 5 bis 8 Punkten.

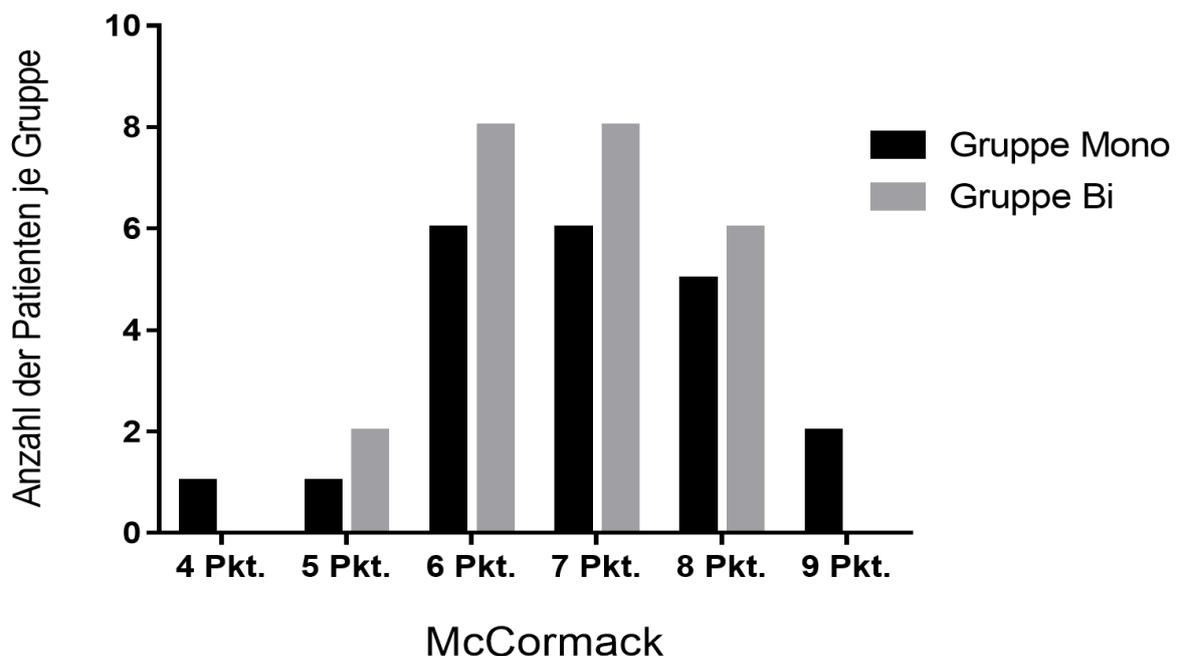


Abb. 15: McCormack Load-Sharing Klassifikation mit Anzahl der Patienten je Gruppe in der Gruppe Mono und Gruppe Bi.

5.1.3 Begleitverletzungen und Begleiterkrankungen

Bei der Entscheidung über das operative Vorgehen werden die Begleitverletzungen und Begleiterkrankungen des Patienten miteinbezogen. In der Gruppe Mono fanden sich 11 Patienten (48%) mit Begleitverletzungen, darunter 6 Polytraumata. Unter den

Polytraumata waren auch die Frakturen vom Typ B und C vertreten. Außerdem fanden sich in der Gruppe Mono 4 Patienten mit zusätzlichen Wirbelkörperfrakturen und ein Patient mit einer Becken-/Sakrumverletzung. Im Patientenkollektiv der Gruppe Bi waren 10 Patienten (42%) mit Begleitverletzungen vertreten, darunter lediglich ein Polytrauma. In der Gruppe Bi fanden sich außerdem 2 zusätzliche Wirbelkörperfrakturen und eine Beckenfraktur.

Die Anzahl der Patienten mit Begleiterkrankungen war mit 6 Patienten pro Gruppe in beiden Gruppen gleich. Dies entspricht einem Anteil von 26% in der Gruppe Mono und 25% in der Gruppe Bi. Begleiterkrankungen waren: Arterielle Hypertonie, Asthma bronchiale, COPD, Mamma-Ca, Pseudozyste des Pankreas, Hypothyreose, Hashimoto-Thyreoiditis, dilatative Kardiomyopathie, Adipositas permagna, Cogan-Syndrom Typ I, chronischer Alkoholabusus, depressive Erkrankung, Tinnitus und Hörminderung.

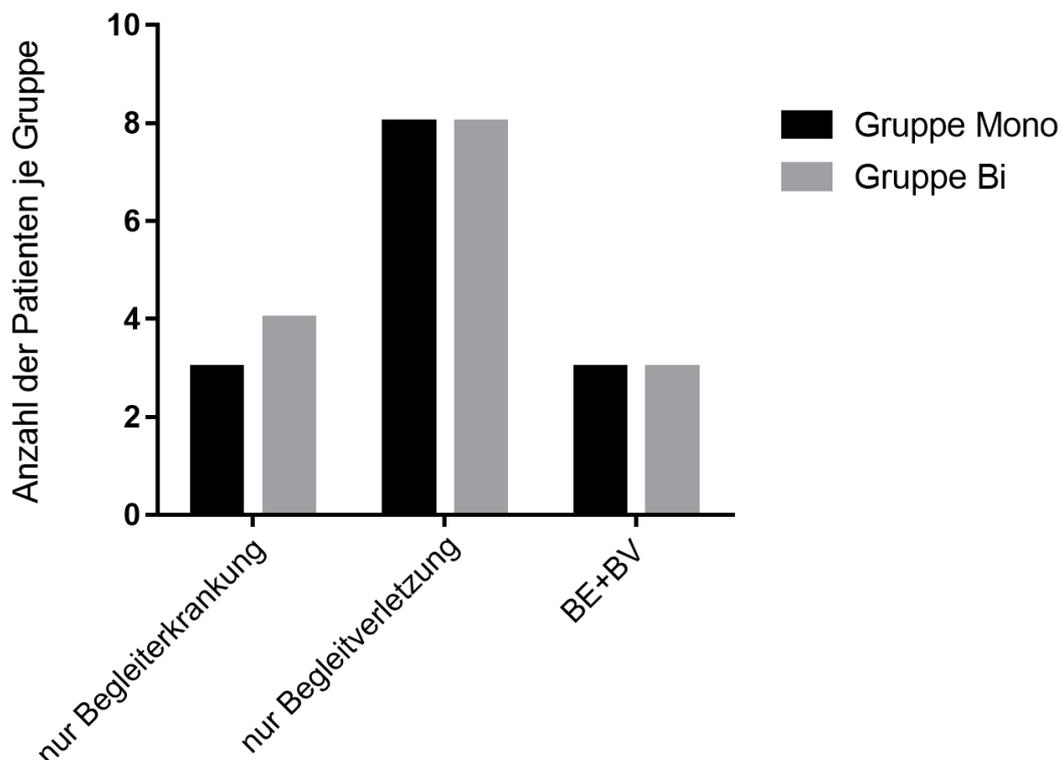


Abb. 16: Anzahl der Patienten mit Begleitverletzungen und/oder -erkrankungen in der Gruppe Mono und Gruppe Bi.

5.1.4 Versorgungszeiten und stationärer Aufenthalt

Beim überwiegenden Teil der Patienten in beiden Gruppen fand die Erstversorgung nach Unfallereignis in einer anderen Klinik statt. Die Dauer bis zur Verlegung ins Uks vom Unfalltag an, lag im Median bei 2 Tagen (Gruppe Mono) bzw. 0 Tagen (Gruppe Bi). Direkt am Tag des Unfalls aufgenommen wurden in der Gruppe Mono 8 von 23 Patienten (35%) und in der Gruppe Bi 13 von 24 Patienten (54%). Der Median vom Tag der Aufnahme ins UKS bis zur OP lag in beiden Gruppen bei 2 Tagen.

Unter anderem aufgrund der schnelleren Verlegung der Patienten ins Uks in der Gruppe Bi, war die Zeitspanne zwischen Unfalltag und erster OP (dorsale Stabilisierung) mit 2 Tagen im Median weniger lange als in der Gruppe Mono mit 6 Tagen. Da die dorsale Stabilisierung für den Beginn der Mobilisation und Rehabilitationsphase relevant ist, lässt sich darauf schließen, dass in der Gruppe Bi etwas früher mit der Rehabilitation begonnen werden konnte.

Der Anteil der Patienten, die noch am Unfalltag operiert werden konnten, von denen, die am Unfalltag ins Uks verlegt wurden oder deren Erstversorgung nach Unfall direkt am Uks stattgefunden hatte, war mit 54 % in der Gruppe Bi größer als in der Gruppe Mono mit 14 %. Dies lässt sich zum Teil durch den größeren Anteil an Polytraumata in der Gruppe Mono erklären.

Nach den operativen Eingriffen befanden sich 83 % der Patienten in der Gruppe Mono und 87 % der Patienten in der Gruppe Bi je einen Tag in intensiver Überwachung (Intermediate Care). Deutlich längere Aufenthaltszeiten auf Intensiv waren auf eine höhere Verletzungsschwere, meist Polytraumata, zurückzuführen. Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren nicht signifikant (Mann Whitney U Test; $p=0,605$).

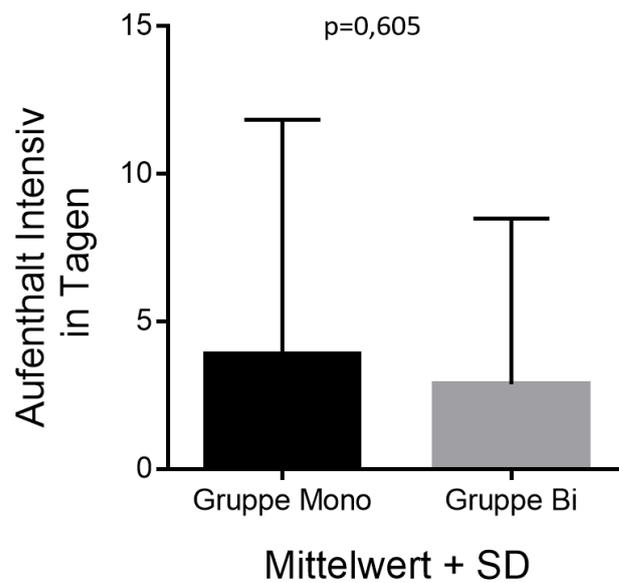


Abb. 17: Mittelwert mit Standardabweichung des Aufenthalts auf Intensiv (Gesamt) in Tagen in der Gruppe Mono und Gruppe Bi (Mann Whitney U Test; $p=0,605$).

Die Dauer des stationären Aufenthalts war mit einem Mittelwert von 27 Tagen in der Gruppe Mono etwas länger als in der Gruppe Bi mit 21 Tagen. Auch die Spanne der Werte lag in der Gruppe Mono mit 17 bis 71 Tagen höher als in der Gruppe Bi mit einer Spanne von 13 bis 31 Tagen. Die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant (Mann Whitney U Test; $p=0,078$). Patienten mit sehr langem stationären Aufenthalt gehörten in beiden Gruppen zu den polytraumatisierten Patienten.

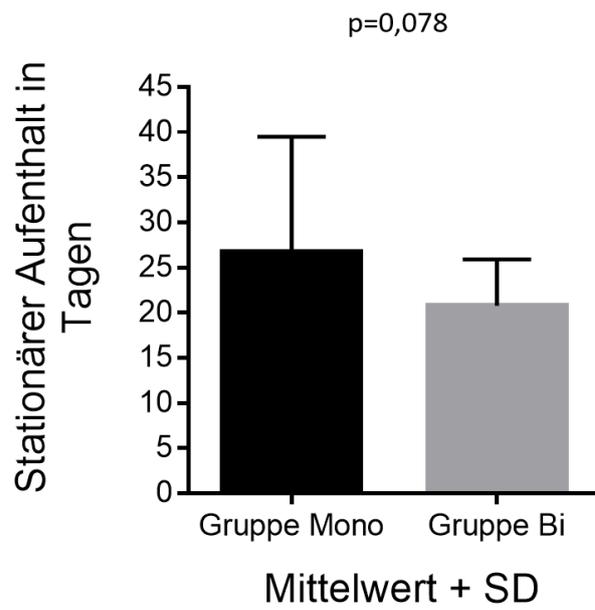


Abb. 18: Mittelwert mit Standardabweichung des Stationären Aufenthalts in Tagen in der Gruppe Mono und Gruppe Bi (Mann-Whitney U Test; $p=0,078$).

5.2 Operative Behandlung

5.2.1 Höhenlokalisierung von Fraktur und Operation

Die Frakturen waren in beiden Gruppen zwischen BWK 11 und LWK 4 lokalisiert. Die genaue Verteilung innerhalb der Gruppen ist in der folgenden Graphik dargestellt.

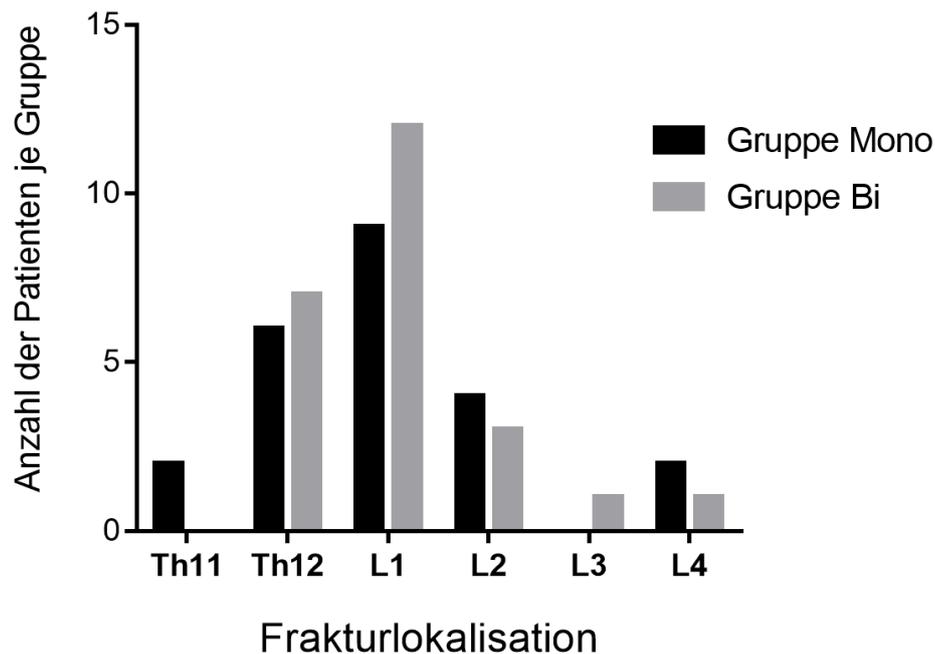


Abb. 19: Frakturlokalisierung in der Gruppe Mono und Gruppe Bi.

Der größte Anteil der Frakturen war mit 39 % in der Gruppe Mono und 50 % in der Gruppe Bi auf Höhe von LWK 1 lokalisiert. Auch häufig war eine Frakturlokalisierung auf Höhe von BWK 12 mit 26 % in der Gruppe Mono und 29 % in der Gruppe Bi.

5.2.2 Zugangsverfahren für den anterioren Zweiteingriff

Abhängig von der Frakturlokalisierung, Begleitverletzungen (z.B. Thoraxtrauma) sowie den individuellen Gegebenheiten (z.B. enge Rippenzwischenräume, Verklebungen/Vernarbungen) wurden unterschiedliche Zugangsverfahren gewählt. Dazu gehörte zum einen die Thorakoskopie, welche das am häufigsten angewandte Zugangsverfahren in beiden Patientenkollektiven mit einem Anteil von 61 % in der Gruppe Mono und 62 % in der Gruppe Bi war und damit fast gleich häufig angewandt

wurde. Andere Zugangsverfahren waren die Mini-open Operation, das offene Verfahren sowie unterhalb von L2 die Mini-Lumbotomie. Das mit 35% am zweithäufigsten angewandte Zugangsverfahren in der Gruppe Mono, war die Mini-open oder Mini-Lumbotomie. Im Vergleich dazu wurde dieser Zugang in der Gruppe Bi nur bei 8% des Patientenkollektivs gewählt. Mit 16% etwas häufiger durchgeführt wurde in der Gruppe Bi das offene Zugangsverfahren, im Vergleich zu 4% in der Gruppe Mono.

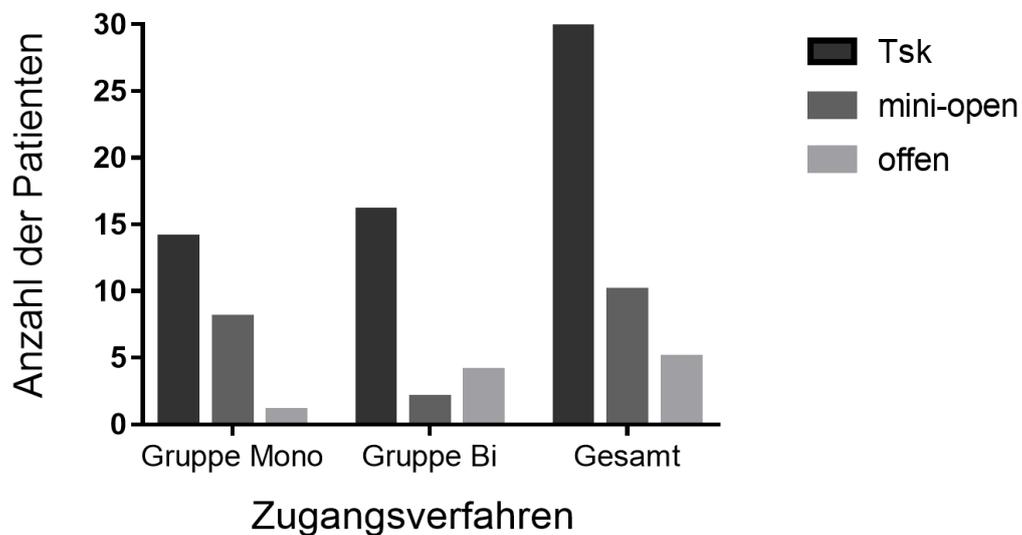


Abb. 20: Anzahl der Patienten je Zugangsverfahren (Tsk, mini-open, offen) in der Gruppe Mono, Gruppe Bi und Gesamt.

5.2.3 Operationszeiten und Blutverluste

Die Operationszeit Gesamt (dorsaler und ventraler Eingriff addiert) war mit einem Mittelwert von 4h 18min in beiden Gruppen identisch (t-Test; $p=0,974$). Auch die OP-Zeit des dorsalen und ventralen Eingriffs getrennt betrachtet, unterschied sich in den beiden Patientenkollektiven nicht signifikant. Der dorsale Eingriff dauerte im Mittel 1h 23min in der Gruppe Mono und 1h 41min in der Gruppe Bi (Mann Whitney U Test; $p=0,358$). Wie zu erwarten, nahm der ventrale Eingriff etwas mehr Zeit in Anspruch und war mit einer OP-Zeit von 2h 43min im Mittel in beiden Gruppen gleich (t-Test; $p=0,985$).

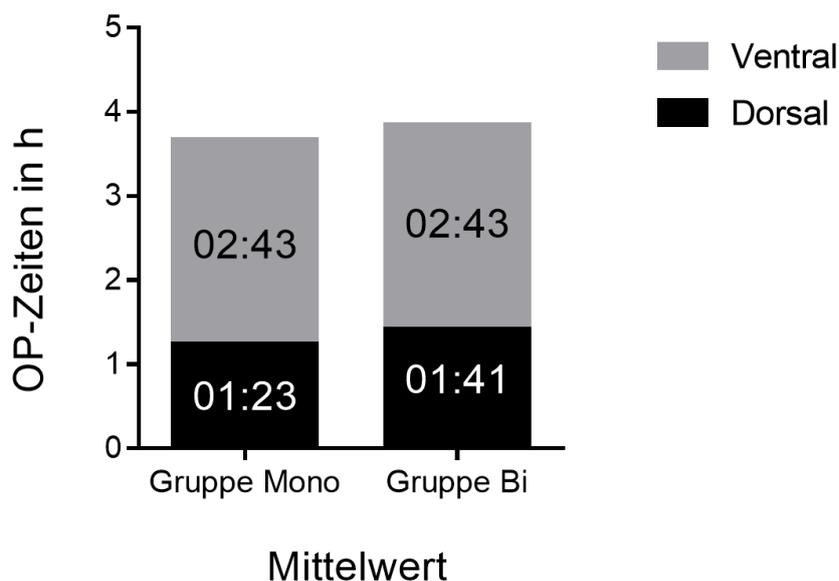


Abb. 21: Mittelwerte der OP-Zeiten (dorsaler und ventraler Eingriff) in der Gruppe Mono und Gruppe Bi.

Die OP-Zeit in Bezug auf die verschiedenen Zugangsverfahren (Tsk, mini-open, offen), ergab in keiner Gruppe einen signifikanten Unterschied. Die Thorakoskopie dauerte nicht signifikant länger als die mini-open oder offene Operation (t-Test; Gruppe Mono: $p=0,220$, Gruppe Bi: $p=0,562$).

Auch in Hinblick auf die Menge des Blutverlusts unterschieden sich die Patientenkollektive nicht signifikant voneinander. Die Gruppe Mono lag mit einem Blutverlust gesamt (dorsaler und ventraler Eingriff addiert) mit im Mittel 449 ml und einer Spanne von 200 bis 800 ml etwas höher als die Gruppe Bi mit im Mittel 404 ml und einer Spanne von 100 bis 700 ml (t-Test; $p=0,446$). Während des ventralen Eingriffs verloren die Patienten mehr Blut als während des dorsalen Eingriffs. Im Mittel lag der Blutverlust für die ventrale OP bei 279 ml (Gruppe Mono) bzw. 234 ml (Gruppe Bi) im Vergleich zu im Mittel 170 ml (Gruppe Mono) bzw. 191 ml (Gruppe Bi) während des dorsalen Eingriffs. Bei beiden Eingriffen gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (Mann Whitney U Test; OP ventral: $p=0,367$, OP dorsal: $p=0,039$).

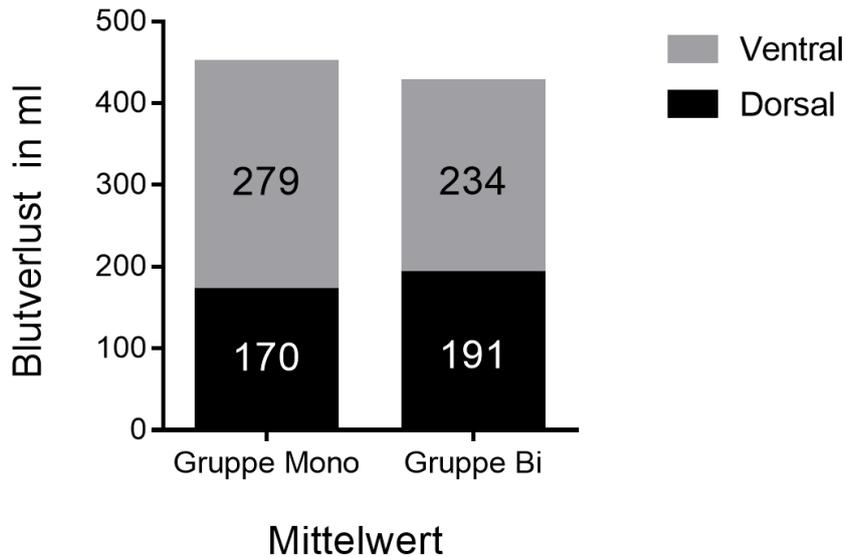


Abb. 22: Mittelwerte der Blutverluste (dorsaler und ventraler Eingriff) in der Gruppe Mono und Gruppe Bi.

Postoperativ war bei 3 Patienten der Gruppe Mono und 2 Patienten in der Gruppe Bi der Einsatz von Erythrozytenkonzentraten notwendig.

5.2.4 Neurologische Ausfälle

Der Anteil der Patienten mit neurologischen Ausfällen war in der Gruppe Bi mit 21% etwas größer als in der Gruppe Mono (9%).

Im Patientenkollektiv der Gruppe Mono waren 2 Patienten mit traumatisch bedingten neurologischen Ausfällen vertreten. Dabei handelte es sich zum einen um ein posttraumatisches inkomplettes Conus-Cauda-Syndrom mit Beteiligung der motorischen Wurzel von L5 und den Segmenten S2 bis S4 und zum anderen um ein posttraumatisches Brown-Sequard-Syndrom Th9 mit führender Monoparese des rechten Beins. Postoperativ bestanden noch sensorische Störungen in den Beinen, welche sich bis zur Entlassung zurückbildeten.

In der Gruppe Bi litten 5 Patienten unter neurologischen Ausfällen. Bei 3 der 5 Patienten war die Neurologie traumatisch bedingt. Dabei handelte es sich um ein linksbetontes Cauda-Syndrom mit Niveau L5/S1, eine beidseitige Parese der unteren Extremitäten und ein beginnendes Conus-Cauda-Syndrom. Die neurologische Symptomatik war postoperativ bei allen Patienten rückläufig.

Zwei der 5 Patienten litten postoperativ vorübergehend unter Sensibilitätsstörungen im Bereich der unteren Extremitäten. Davon beklagte ein Patient eine Hypästhesie am linken proximalen Oberschenkel, diese war am ehesten bedingt durch eine mechanische Irritation des N. cutaneus femoralis lateralis nach Beckenkammspanentnahme. Bei dem anderen Patienten bestand postoperativ eine sensible L5-Symptomatik auf der ipsilateralen Seite, bedingt durch eine zu mediale Schraubenlage im linken Pedikel, welche nach Revision (erfolgte zusammen mit der ventralen Stabilisierung) wieder rückläufig war.

5.2.5 Komplikationen

Die Zahl der auf die Operationen bezogenen Komplikationen war in beiden Gruppen sehr gering.

In der Gruppe Mono trat bei einem Patienten eine mechanische Komplikation auf. Der Beckenkammspan war postoperativ verkippt und wurde zeitnah revidiert. Bei einem weiteren Patienten zeigte sich im postoperativen CT, dass eine der unteren Pedikelschrauben (L2 links) gering an den Spinalkanal heranreichte, sodass bei der ventralen Stabilisierung zusätzlich eine Neuplatzierung der Pedikelschraube durchgeführt wurde.

In der Gruppe Bi zeigte sich bei einem Patienten postoperativ eine Pedikelschraubenfehlage. Die Schraube lag zu medial im linken Pedikel von LWK5 und wurde daraufhin im Zuge der ventralen Stabilisierung revidiert.

Bei 2 Patienten aus der Gruppe Mono wurde aufgrund klinischer Implantat - assoziierter Symptomatik eine Entfernung des Fixateur interne durchgeführt.

In der Gruppe Bi erfolgte bei 7 Patienten eine Implantatentfernung, diese wurde allerdings nur bei einem Patienten aufgrund einer klinischen Symptomatik durchgeführt. In den anderen Fällen erfolgte die Implantatentfernung zur Mobilisierung intakter, durch die Operation überbrückter Bewegungssegmente.

5.3 Repositionsergebnis und Instrumentierungsergebnis

5.3.1 Grunddeckplattenwinkel

Prä- und postoperativ wurden verschiedene Winkelgrade gemessen um das Repositionsergebnis ermitteln zu können. Als aussagekräftigster Parameter zur Beurteilung der Reposition wurde der sagittale monosegmentale Grunddeckplattenwinkel angesehen.

In beiden Gruppen konnte postoperativ eine deutliche Reduktion der Deformität erreicht werden. Der paired t-Test ergab Signifikanzen ($p \leq 0,001$) in beiden Gruppen.

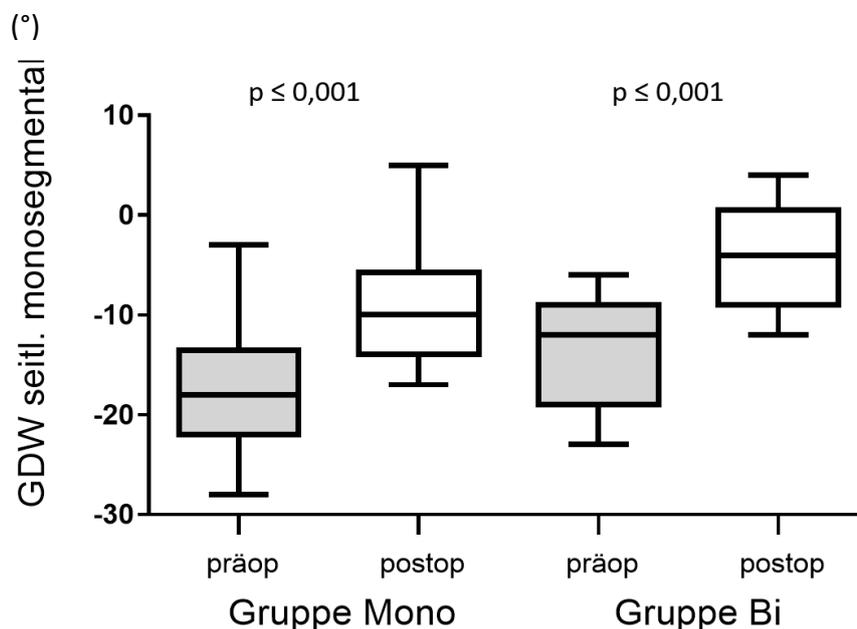


Abb. 23: Monosegmentaler Grunddeckplattenwinkel seitlich prä- und postoperativ in der Gruppe Mono und Gruppe Bi. Boxplots mit Median (-), Quantile 25 %-75 % (Box) und Min bis Max (••). Negatives Vorzeichen bedeutet kyphotische Stellung (paired t-Test; $p \leq 0,001$).

In der Gruppe Mono lag die präoperative kyphotische Fehlstellung im Mittel bei $-14^\circ (\pm 9^\circ)$ und wurde postoperativ auf $7^\circ (\pm 7^\circ)$ korrigiert. Die prä- und postoperativ gemessenen Werte in der Gruppe Bi unterschieden sich davon nur sehr wenig. Der präoperativ gemessene monosegmentale GDW sagittal lag hier im Mittel bei $-13^\circ (\pm 5^\circ)$ und wurde postoperativ auf $-4^\circ (\pm 5^\circ)$ korrigiert.

Aus diesen prä- und postoperativ gemessenen Werten konnte der Korrekturumfang errechnet werden, welcher keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen

zeigte (t-test $p=0,420$). Der Korrekturumfang des monosegmentalen GDW sagittal lag bei im Mittel $6^\circ (\pm 6^\circ)$ in der Gruppe Mono bzw. $8^\circ (\pm 5^\circ)$ in der Gruppe Bi.

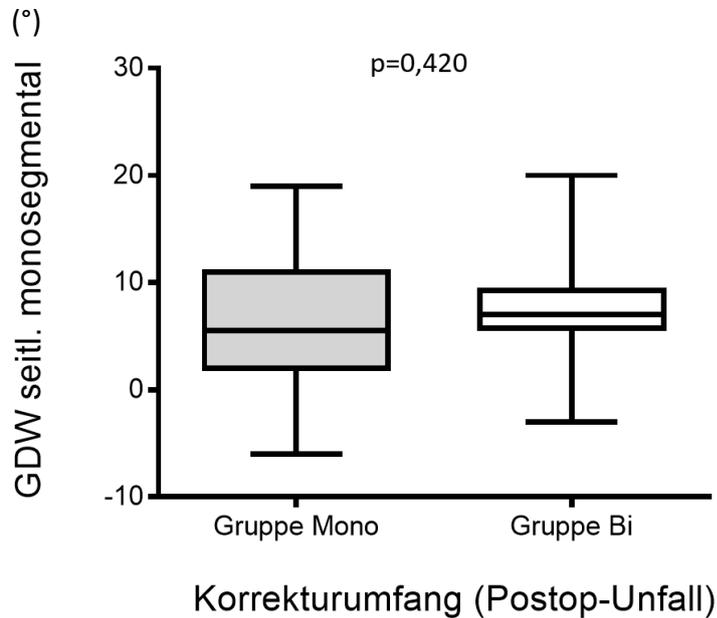


Abb. 24: Korrekturumfang des monosegmentalen Grunddeckplattenwinkels seitlich (postop – präop) in der Gruppe Mono und Gruppe Bi. Boxplots mit Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min bis Max (-,+). Negatives Vorzeichen bedeutet kyphotische Stellung (t-Test; $p=0,420$).

Eine Korrelation zwischen präoperativem GDW sagittal und Korrekturumfang konnte nur in der Gruppe Mono nachgewiesen werden (Spearman Correlation; $p=0,00107$). Je größer die präoperative Fehlstellung, desto größer war die erzielte Korrektur. In der Gruppe Bi konnte keine signifikante Korrelation zwischen den Werten festgestellt werden (Spearman Correlation; $p>0,050$).

Um die prä- und postoperative Seitneigung beurteilen zu können, wurde der monosegmentale GDW a.-p. bestimmt. Bei rechtskonvexer Seitneigung wurde er mit einem positiven Vorzeichen, bei linkskonvexer Seitneigung mit einem negativen Vorzeichen versehen.

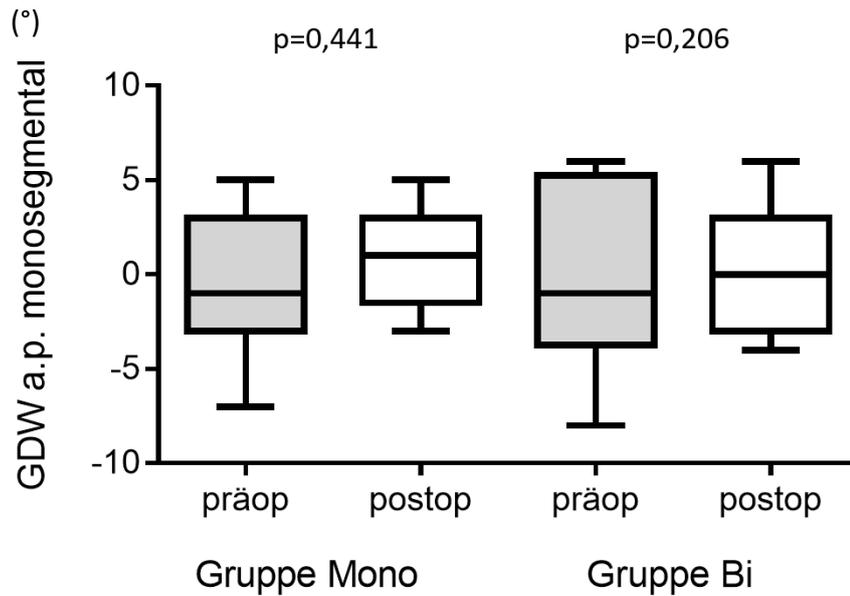


Abb.25: Monosegmentaler Grunddeckplattenwinkel a.-p. prä-und postoperativ in der Gruppe Mono und Gruppe Bi. Boxplots mit Median (-), Quantile 25%- 75% (Box) und Min bis Max (·). Negatives Vorzeichen bedeutet Linkskonvexität, positives Vorzeichen bedeutet Rechtskonvexität.

In beiden Gruppen kam es bei keinem der Patienten postoperativ zu einer signifikanten Seitneigung (paired t-Test; Gruppe Mono: $p=0,441$, Gruppe Bi: $p=0,206$).

Präoperativ lagen die Werte im Mittel bei $0^\circ (\pm 3^\circ)$ in der Gruppe Mono bzw. $0^\circ (\pm 4^\circ)$ in der Gruppe Bi. Die postoperativ gemessenen Werte beliefen sich auf im Mittel $0^\circ (\pm 2^\circ)$ in der Gruppe Mono und in der Gruppe Bi auf $-1^\circ (\pm 3^\circ)$ und wurden als unerhebliche und folgenlose Deviationen gewertet. Eine bevorzugte Seitneigung in eine Richtung (links- bzw. rechtskonvex) konnte in keiner der Gruppen festgestellt werden.

In der Gruppe Bi wurde zusätzlich zum monosegmentalen GDW, der bisegmentale GDW sagittal und a.-p. gemessen. Auch hier konnten signifikante Unterschiede zwischen dem prä-und postoperativen GDW sagittal gemessen werden (paired t-Test; $p<0,001$).

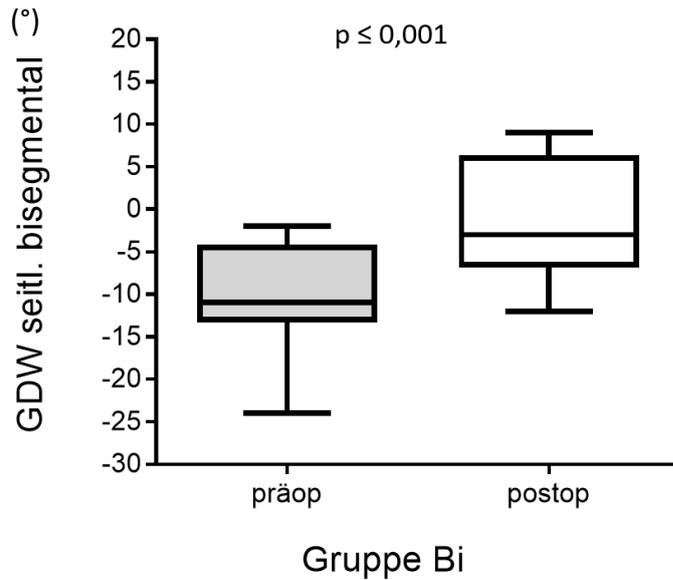


Abb. 26: Bisegmentaler Grunddeckplattenwinkel seitlich prä-und postoperativ in der Gruppe Bi. Boxplots mit Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min bis Max (±). Negatives Vorzeichen bedeutet kyphotische Stellung (paired t-Test; $p \leq 0,001$).

Präoperativ lag der bisegmentale GDW sagittal im Mittel bei $-10^\circ (\pm 7^\circ)$ und wurde auf $-1^\circ (\pm 7^\circ)$ korrigiert. Daraus ergab sich ein errechneter Korrekturumfang von im Mittel $8^\circ (\pm 7)$ welcher sich nicht signifikant vom errechneten Korrekturumfang des monosegmentalen GDW sagittal mit im Mittel $8^\circ (\pm 5^\circ)$ unterschied (t-Test; $p= 0,827$).

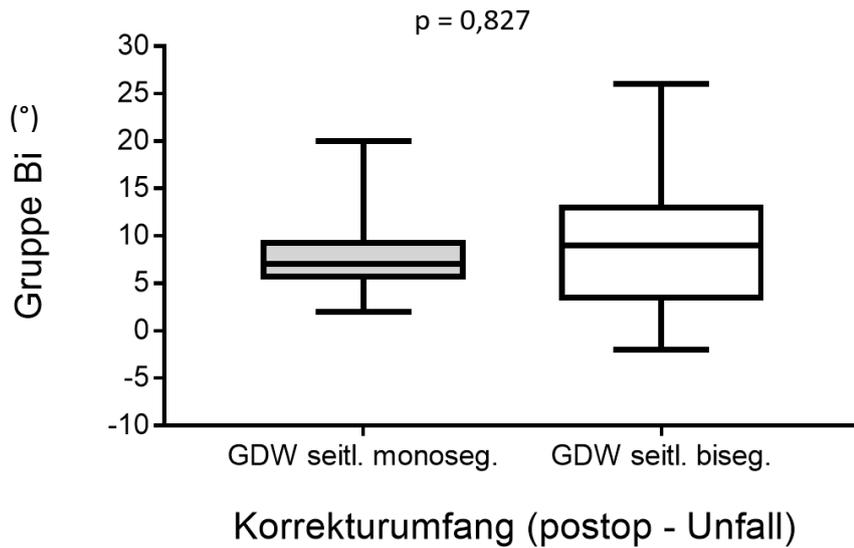


Abb. 27: Korrekturumfang (postop – Unfall) des mono-und bisegmentalen seitlichen GDW in der Gruppe Bi. Boxplots mit Median (-), Quantile 25%- 75% (Box) und Min bis Max (··). Negatives Vorzeichen bedeutet kyphotische Stellung (t-Test; $p=0,827$).

In Bezug auf den bisegmentalen GDW a.-p. ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen prä- und postoperativ gemessenen Werten (paired t-Test; $p=0,008$). Die Werte lagen präoperativ bei im Mittel -4° ($\pm 3^{\circ}$) und postoperativ bei -1° ($\pm 2^{\circ}$).

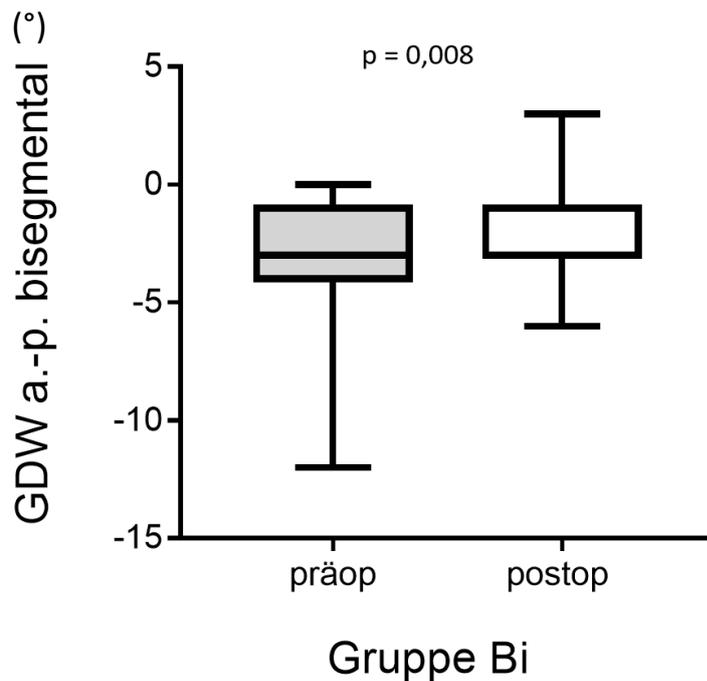


Abb. 28: Bisegmentaler Grunddeckplattenwinkel a.-p. prä- und postoperativ in der Gruppe Bi. Boxplots mit Median (-), Quantile 25%- 75% (Box) und Min bis Max (±). Negatives Vorzeichen bedeutet Linkskonvexität, positives Vorzeichen bedeutet Rechtskonvexität (paired t-Test; $p=0,008$).

5.3.2 Körperwinkel, relative Wirbelkörperhöhe

Die präoperativen Bedingungen bezogen auf den Körperwinkel des frakturierten Wirbels sowie die noch vorhandene relative Wirbelkörperhöhe beider Gruppen unterschieden sich zum Teil signifikant voneinander. Beide Parameter gehören zu den Kriterien, welche die Entscheidung für die Wahl des richtigen Operationsverfahrens beeinflussen. Um eine monosegmentale dorsale Stabilisierung durchführen zu können, bei der Pedikelschrauben im frakturierten Wirbelkörper verankert werden müssen, ist eine relative mittige Wirbelkörperhöhe von mindestens 50% notwendig und somit auch ein Ein- bzw. Ausschlusskriterium.

Signifikante Unterschiede gab es bei den präoperativ gemessenen Körperwinkeln der frakturierten Wirbelkörper. Die Werte waren in der Gruppe Mono mit im Mittel $-22^\circ (\pm 6^\circ)$ größer als in der Gruppe Bi mit $-16^\circ (\pm 4^\circ)$ (t-Test; $p<0,001$).

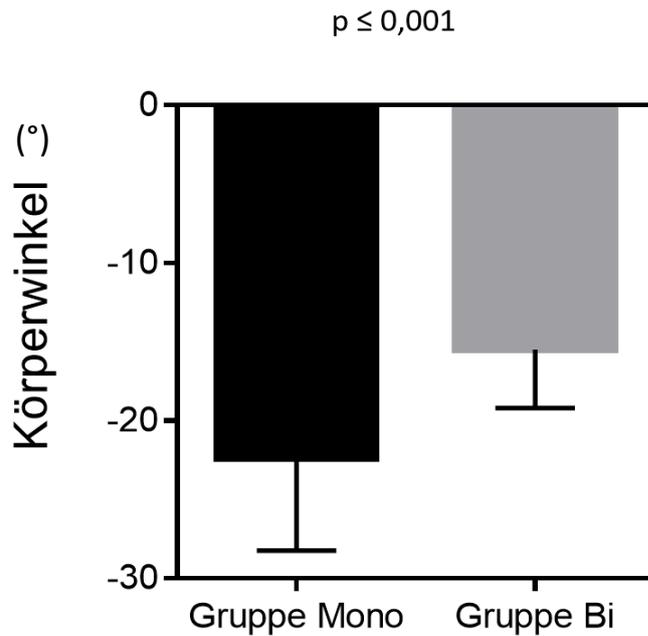


Abb. 29: Körperwinkel (Mittelwert mit Standardabweichung) in der Gruppe Mono und Gruppe Bi.

Präoperativ wurden außerdem, wie in der folgenden Abbildung dargestellt, in beiden Gruppen die relative Wirbelkörperhöhe ventral, mittig sowie dorsal bestimmt.

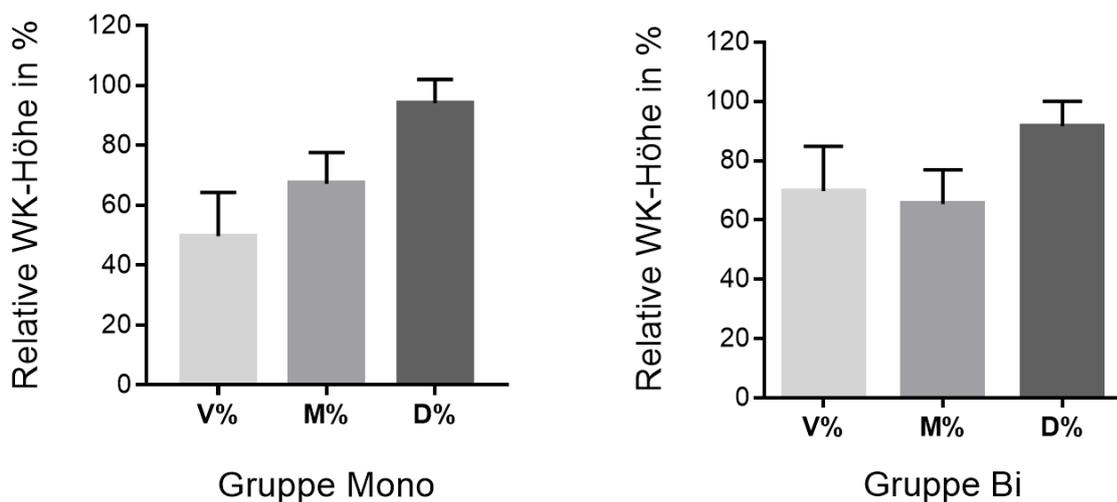


Abb. 30: Relative WK-Höhe ventral, mittig und dorsal in % in der Gruppe Mono (Bild links) und Gruppe Bi (Bild rechts).

Eine relative mittige Wirbelkörperhöhe von mindestens 50% war in allen Fällen gegeben, sodass auf dieses Kriterium bezogen, auch im Patientenkollektiv der Gruppe

Bi, eine monosegmentale dorsale Stabilisierung möglich gewesen wäre. Die Werte lagen im Mittel bei 67% in der Gruppe Mono und 65% in der Gruppe Bi und unterschieden sich nicht signifikant voneinander (t-Test; $p=0,634$). Postoperativ wurde noch die relative mittige Wirbelkörperhöhe gemessen, da nach der ventralen Operation durch das Ausmeißeln des Frakturwirbels zur Spanverankerung eine deutliche Höhenminderung zu erwarten war. In beiden Gruppen kam es dabei zu einem signifikanten Höhenverlust (paired t-Test; Gruppe Mono: $p=0,021$, Gruppe Bi: $p=0,03$). Die relative mittige Wirbelkörperhöhe lag postoperativ im Mittel noch bei 55% in der Gruppe Mono und 51% in der Gruppe Bi und ergab damit keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen (Mann Whitney U Test; $p=0,403$).

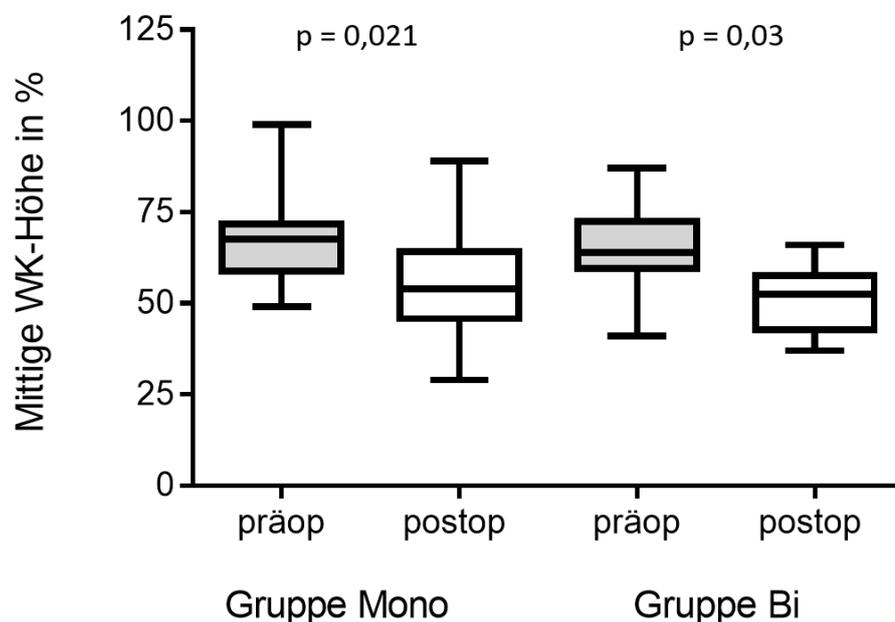


Abb. 31: Prä- und postoperativ gemessene relative mittige Wirbelkörperhöhe in % in der Gruppe Mono und Gruppe Bi. Boxplots mit Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min bis Max (↕).

5.3.3 Spinalkanalweite

Ein weiterer wichtiger Parameter zur Beurteilung der Reposition war die postoperative Weite des Spinalkanals bzw. die Reduktion einer präoperativ vorhandenen Spinalkanaleinengung.

In beiden Gruppen wurde eine signifikante Reduktion der Spinalkanaleinengung im Vergleich zur präoperativen Enge erreicht (paired t-Test; $p<0,001$). Die Ausgangswerte unterschieden sich in beiden Gruppen nicht signifikant (t-Test;

p=0,198) und lagen präoperativ im Mittel bei Spinalkanalweiten von 76 % in der Gruppe Mono bzw. 73 % in der Gruppe Bi. Postoperativ stiegen die Werte auf im Mittel 92 % in der Gruppe Mono und 88 % in der Gruppe Bi.

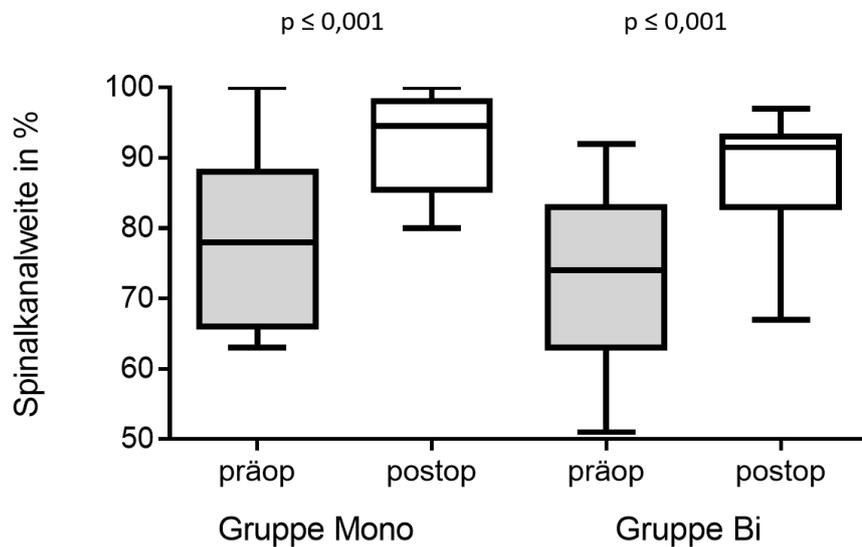


Abb. 32: Prä- und postoperativ gemessene Spinalkanalweite in % in der Gruppe Mono und Gruppe Bi. Boxplots mit Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min bis Max (·) (paired t-Test; $p \leq 0,001$).

Aus den prä- und postoperativ gemessenen Werten konnte der operativ erzielte Korrekturumfang errechnet werden, der keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen zeigte (t-Test; $p=0,433$). In der Gruppe Mono lag der Korrekturumfang bei im Mittel 13 % (± 10 %), im Vergleich dazu war der Wert in der Gruppe Bi mit im Mittel 16 % (± 8 %) noch etwas größer.

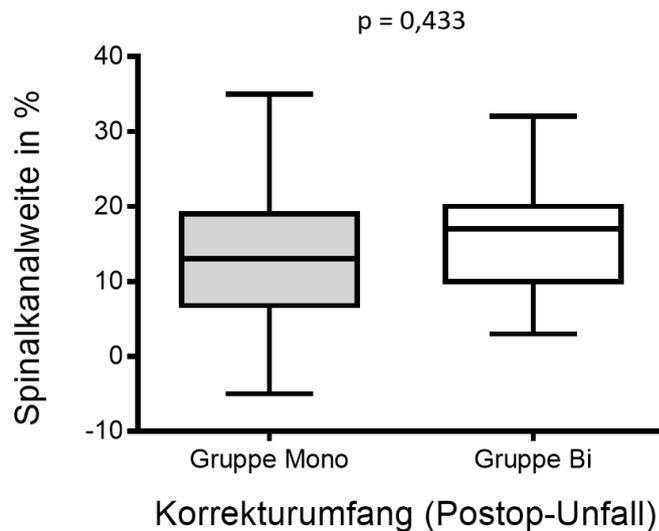


Abb. 33: Korrekturumfang der Spinalkanalweite in der Gruppe Mono und Gruppe Bi ($p=0,433$). Boxplots mit Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min bis Max (·-) (t-Test; $p=0,433$).

5.3.4 Lage der Fixateur Schrauben

Innerhalb der Gruppe Mono lagen, wie in der folgenden Abbildung (Abb. 36) dargestellt, 96 % der Fixateur Schrauben in Idealposition (1a nach Zdychavski), ähnlich gut war das Ergebnis in der Gruppe Bi mit 93 % der Schrauben in Idealposition. In beiden Gruppen musste jeweils bei einem Patienten, aufgrund schlechter Lage einer Pedikelschraube, eine Neuplatzierung erfolgen. Dies wurde in beiden Gruppen, in einer Sitzung mit der ventralen Stabilisierung, durchgeführt. Die zu revidierende Schraube in der Gruppe Mono lag dabei zu nahe am Spinalkanal (zeigte sich im postoperativen CT) und in der Gruppe Bi zu medial im linken Pedikel, was sich in einer sensiblen L5-Symptomatik zeigte. In beiden Fällen lagen die Fixateur Schrauben nach der Neuplatzierung in Idealposition und die Sensibilitätsstörungen waren rückläufig.

Schraubenposition nach Zdychavski

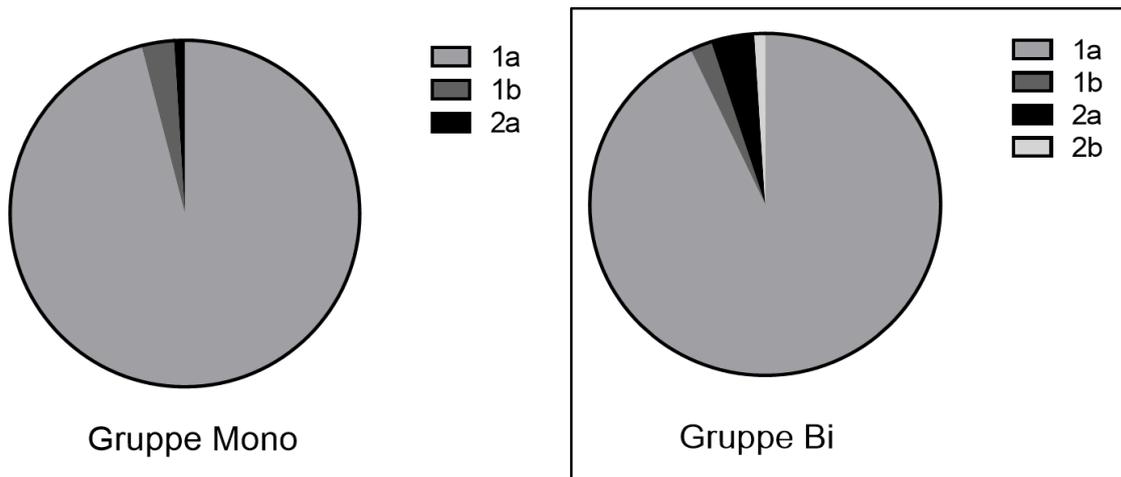


Abb. 36: Häufigkeitsverteilung der Fixateur-Schraubenlage nach Zdychavski in der Gruppe Mono (Bild links) und **Gruppe Bi** (Bild rechts).

4 der 92 Schrauben in der Gruppe Mono und 7 der 96 Schrauben in der Gruppe Bi wichen, in nicht revisionsbedürftigem Ausmaß, von der Idealposition ab. In der Gruppe Mono lagen davon 3 Schrauben in Position 1b und eine in Position 2a. Zwei der 7, von der Idealposition abweichenden Schrauben in der Gruppe Bi, waren in Position 1b implantiert worden, 4 in Position 2a und eine in Position 2b.

5.3.5 Span-Neigung und -position

In beiden Patientenkollektiven erfolgte in der zweiten Operation die ventrale Spondylodese durch Einbringen eines Beckenkammspanns in den frakturierten Wirbelkörper. Das Transplantat war in allen Fällen ein autologer trikortikaler Span. Er wurde vom Beckenkamm auf ipsilateraler Seite des Wirbelsäulenzugangs entnommen. Komplikationen hinsichtlich Hämatom, Infekt oder Lokalschmerz an der Entnahmestelle traten in keinem der Fälle auf. Als ideale Achsneigung des mittig in den Wirbelkörper eingebrachten Spans wurden Winkel zwischen 0° und 6° angesehen. Diese Idealachse wurde, wie in der folgenden Abbildung dargestellt, in der Gruppe Bi mit einem Anteil von 50 % häufiger erreicht als in der Gruppe Mono mit 35 %.

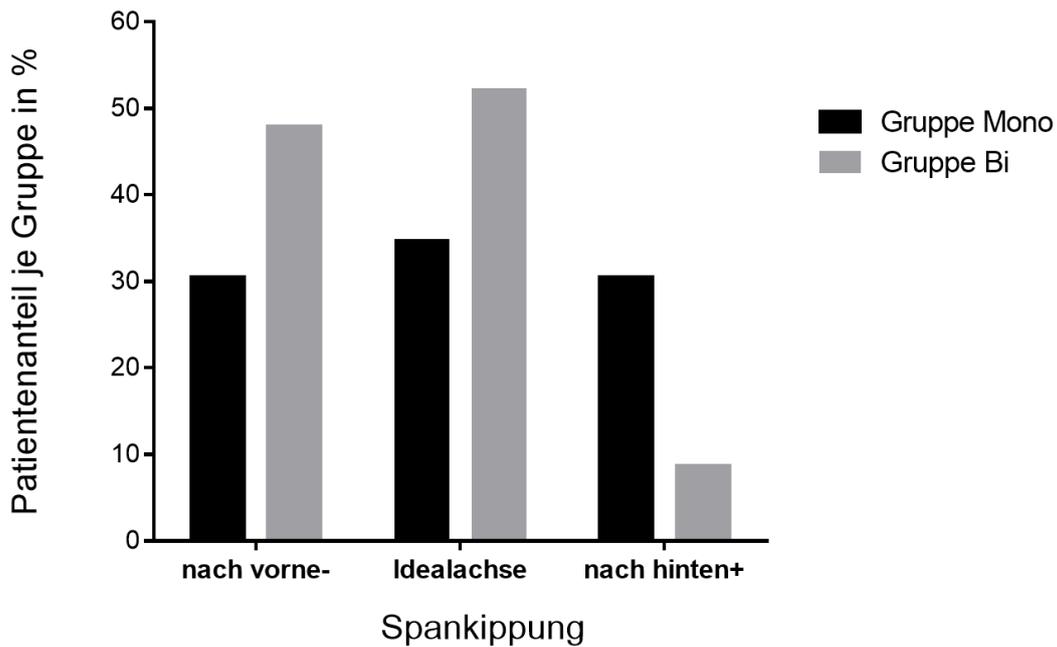


Abb. 34: Relative Häufigkeitsverteilung der Spankippung in der Gruppe Mono und Gruppe Bi.

Eine Spankippung nach vorne (negatives Vorzeichen) oder nach hinten (positives Vorzeichen), mit einem von der Idealachse abweichenden Winkel, trat in der Gruppe Mono mit einem Anteil von je 31 % der Fälle gleich häufig auf. In der Gruppe Bi trat eine Verkippung des Spans nach hinten mit 4 % auffällig seltener auf.

Die Neigung der Spanachse unterschied sich signifikant zwischen den Gruppen (t-Test; $p=0,011$). Sie lag in der Gruppe Mono im Median bei 0° mit einer Spanne von -25° bis 63° und in der Gruppe Bi bei -6° mit einer Spanne von -32° bis 7° .

Die folgende Abbildung zeigt die relative Häufigkeitsverteilung der postoperativen Spanposition.

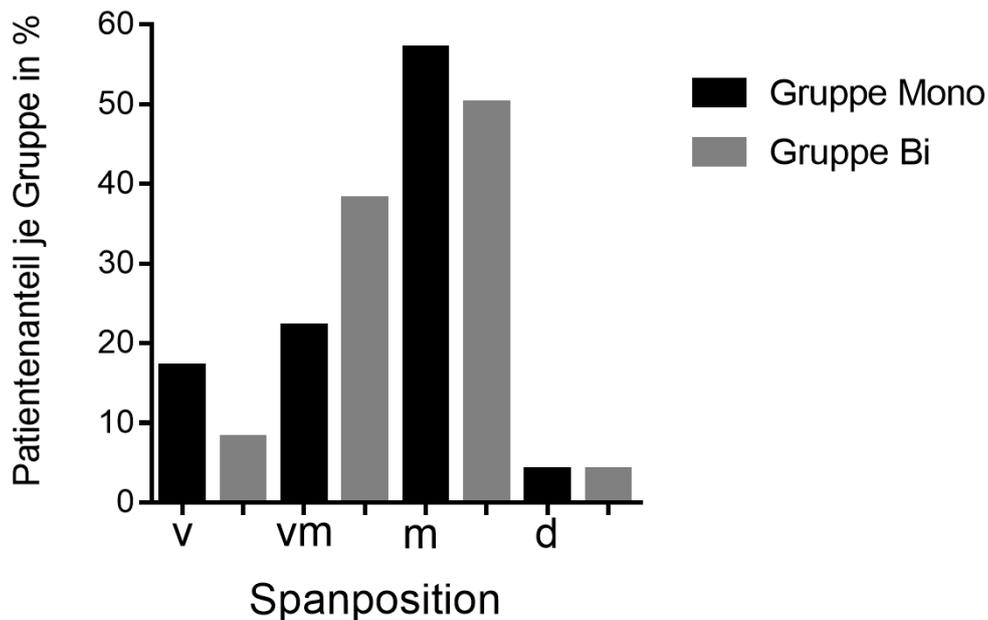


Abb. 35: Relative Häufigkeitsverteilung der Spanpositionen ventral, ventral-mittig, mittig und dorsal in der Gruppe Mono und Gruppe Bi.

Eine ventral-mittige oder mittige Spanposition wurde in der Gruppe Bi mit einem Anteil von 88 % etwas häufiger erreicht als in der Gruppe Mono mit 79 %. Eine dorsale Lage des Spans trat in beiden Gruppen nur in je einem Fall auf und war in der Gruppe Mono, der bereits bei den Komplikationen geschilderte, sekundär dislozierte Span, der im Verlauf zur Korrektur revidiert wurde.

5.4 Radiologische Verläufe (Spätverlauf)

Neben den bereits oben beschriebenen prä- und postoperativ bestimmten Parametern zur Beurteilung der Repositionsergebnisse, wurden einige der Werte, im Verlauf nochmals gemessen. Vor allem interessierten uns hierbei die Korrekturverluste der postoperativ erreichten Repositionsergebnisse innerhalb beider Patientenkollektive, sowie auch eine bereits stattgefundenen oder nicht stattgefundenen knöchernen Durchbauung des in beiden Gruppen eingebrachten Beckenkammspans.

Beurteilt wurden Röntgen- und CT-Aufnahmen, die mindestens 6 Monate postoperativ, durchgeführt worden waren. Da in unserem Röntgenarchiv nicht von allen Patienten unseres Kollektivs Kontrollaufnahmen zu finden waren, mussten wir bei einem Teil der Patienten, auf Röntgen- und CT-Aufnahmen von niedergelassenen Kollegen, sowie anderen Kliniken/Reha-Kliniken zurückgreifen.

5.4.1 Korrekturverlust im Grunddeckplattenwinkel

Als bester Parameter zur Beurteilung eines Korrekturverlusts, der postoperativ gut korrigierten kyphotischen Fehlstellung, wurde erneut der sagittale monosegmentale Grunddeckplattenwinkel gemessen.

Die auf den Verlaufsaufnahmen gemessenen Werte des monosegmentalen GDW sagittal unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Gruppen (t-Test; $p=0,530$).

Allerdings zeigten sich in beiden Gruppen, beim Vergleich von postoperativ und auf den Verlaufsaufnahmen gemessenen monosegmentalen GDW sagittal signifikante Unterschiede zwischen den Werten (paired t-Test; Gruppe Mono: $p=0,041$, Gruppe Bi: $p=0,017$).

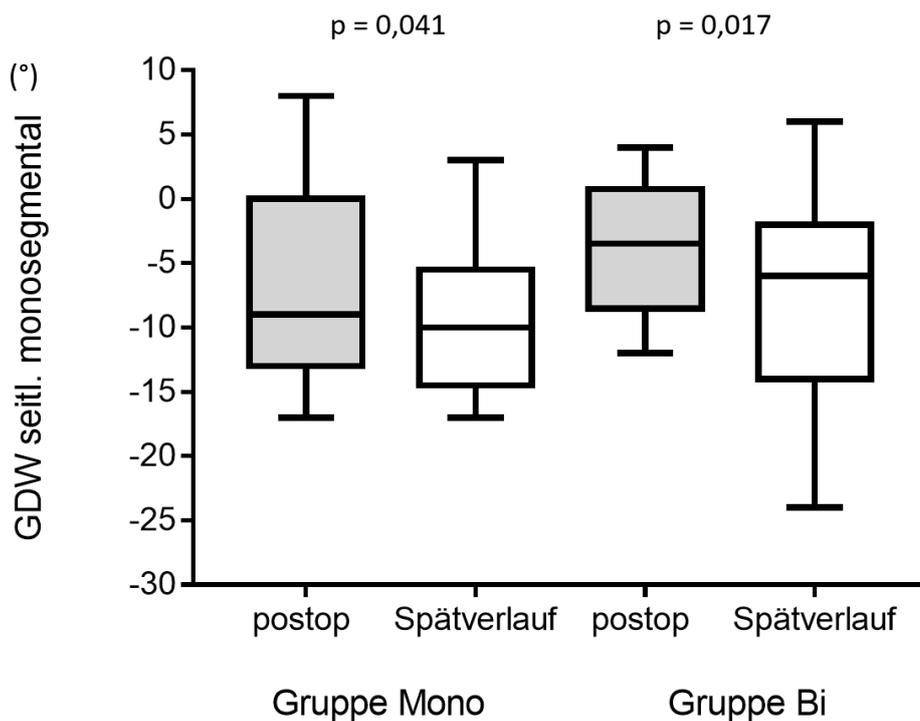


Abb. 37: Monosegmentaler seitlicher Grunddeckplattenwinkel postoperativ und Spätverlauf in der Gruppe Mono und Gruppe Bi. Boxplots mit Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min bis Max (··). Negatives Vorzeichen bedeutet kyphotische Stellung.

In der Gruppe Mono lag die im Verlauf gemessene kyphotische Fehlstellung bei im Mittel -9° ($\pm 6^\circ$) im Vergleich zu -7° ($\pm 7^\circ$) direkt postoperativ, woraus sich ein Korrekturverlust von im Mittel -3° errechnen ließ. Der im Verlauf der Gruppe Bi

gemessene monosegmentale GDW sagittal unterschied sich nur minimal von dem der Gruppe Mono und lag bei im Mittel $-8^\circ (\pm 9^\circ)$. Der errechnete Korrekturverlust war mit im Mittel -4° in dieser Gruppe, durch den postoperativ gemessenen monosegmentalen GDW sagittal von im Mittel $-4^\circ (\pm 5^\circ)$, etwas größer, unterschied sich aber nicht signifikant vom Patientenkollektiv der Gruppe Mono (t-Test; $p=0,661$).

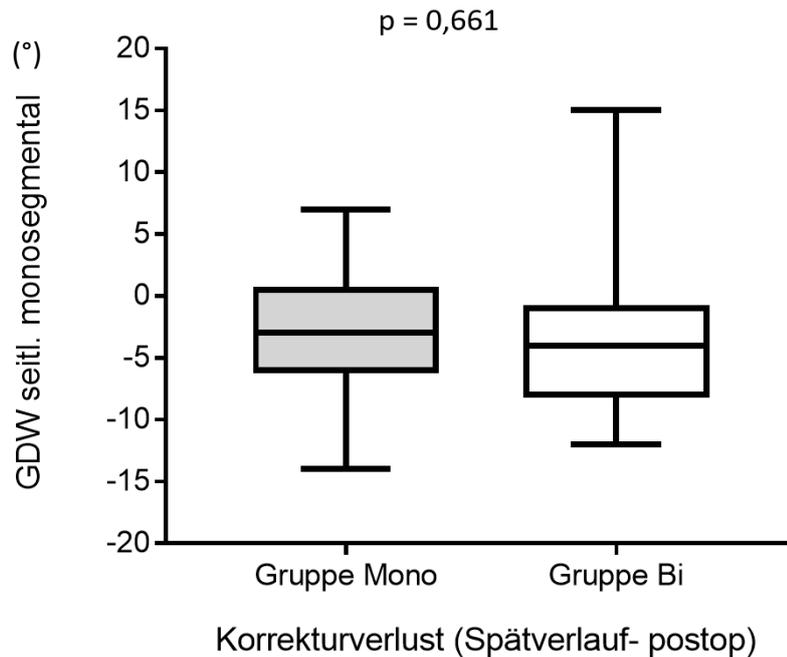


Abb. 38: Korrekturverlust (GDW Spätverlauf minus GDW postop) des monosegmentalen Grunddeckplattenwinkels seitlich in der Gruppe Mono und Gruppe Bi. Boxplots mit Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min bis Max (-.). Negatives Vorzeichen bedeutet kyphotische Stellung (t-Test; $p=0,661$).

Auch der in der Gruppe Bi im Verlauf noch zusätzlich gemessene bisegmentale sagittale Grunddeckplattenwinkel unterschied sich signifikant von dem postoperativ gemessenen bisegmentalen GDW sagittal (paired-t-Test; $p \leq 0,001$). Der im Verlauf gemessene Wert lag hier bei im Mittel $-8^\circ (\pm 11^\circ)$, im Vergleich zu postoperativ gemessenen Werten von im Mittel $-1^\circ (\pm 7^\circ)$, woraus sich ein Korrekturverlust von im Mittel -6° errechnen ließ.

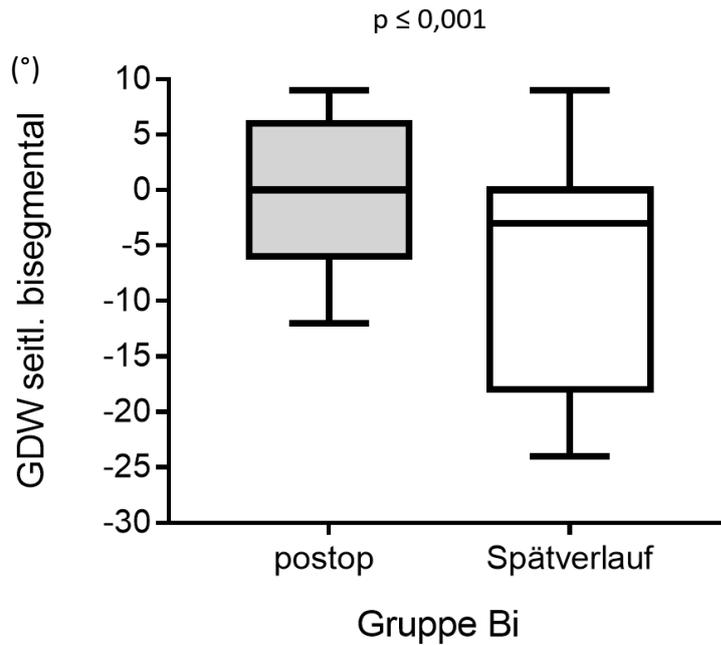


Abb. 39: Bisegmentaler Grunddeckplattenwinkel seitlich postoperativ und Spätverlauf in der Gruppe Bi. Boxplots mit Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min bis Max (-.). Negatives Vorzeichen bedeutet kyphotische Stellung.

Um eine Veränderung der Seitneigung, im Vergleich zur postoperativ gemessenen Seitneigung erkennen zu können, wurde auch in den Spätverlaufsaufnahmen der monosegmentale GDW a.-p. bestimmt, sowie in der Gruppe Bi zusätzlich der bisegmentale GDW a.-p.. Bei rechtskonvexer Seitneigung wurde er wie bereits oben beschrieben mit einem positiven Vorzeichen, bei linkskonvexer Seitneigung mit einem negativen Vorzeichen versehen.

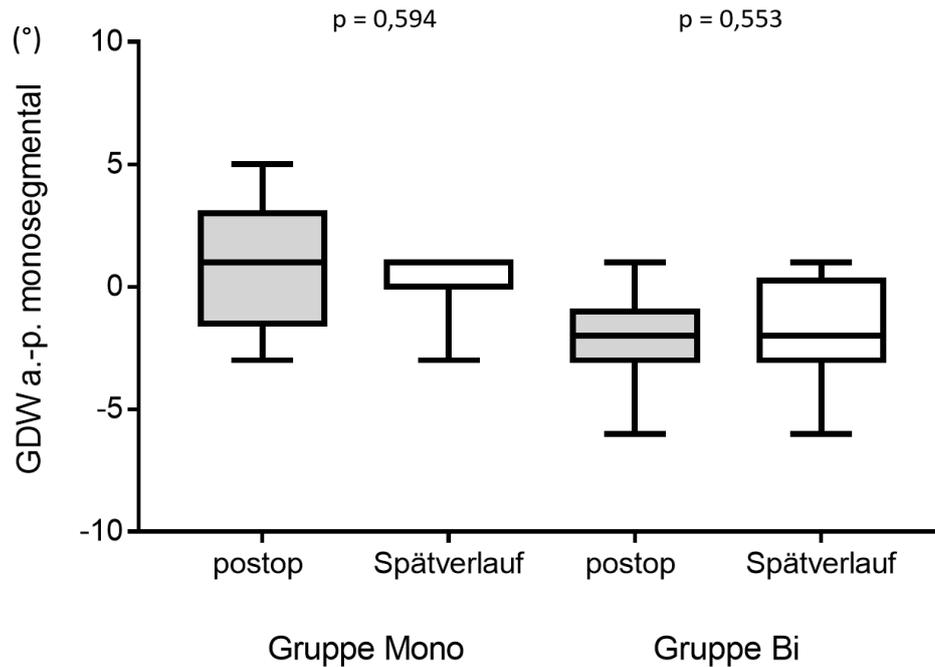


Abb. 40: Monosegmentaler Grunddeckplattenwinkel a.-p. postoperativ und Spätverlauf in der Gruppe Mono und Gruppe Bi. Boxplots mit Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min bis Max (-.). Negatives Vorzeichen bedeutet Linkskonvexität, positives Vorzeichen bedeutet Rechtskonvexität.

In keiner der Gruppen kam es im Verlauf zu einer signifikanten Veränderung der Seitneigung (paired t-Test; Gruppe Mono: $p=0,594$, Gruppe Bi: $p=0,553$).

Die Werte lagen im Verlauf bei im Mittel $-2^\circ (\pm 2^\circ)$ in der Gruppe Mono bzw. $0^\circ (\pm 1^\circ)$ in der Gruppe Bi. Auch der in der Gruppe Bi zusätzlich gemessene bisegmentale GDW a.-p. unterschied sich nicht signifikant von den postoperativen Werten (paired t-Test; $p=0,819$) und lag bei im Mittel $-2^\circ (\pm 2^\circ)$.

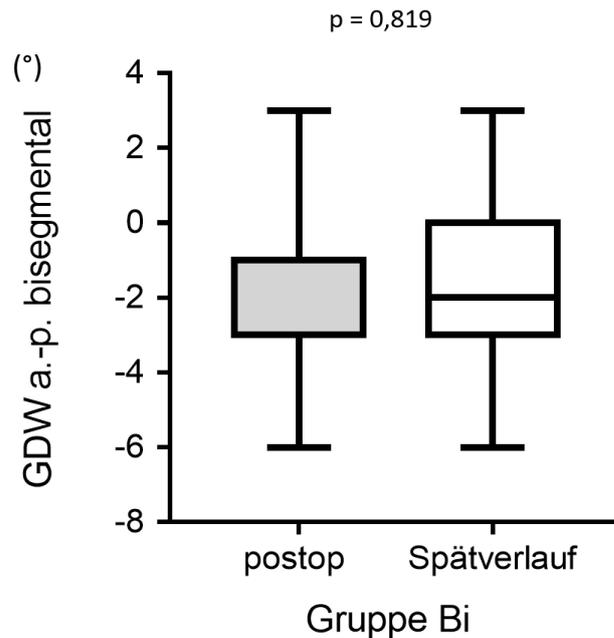


Abb. 41: Bisegmentaler Grunddeckplattenwinkel a.-p. postoperativ und Spätverlauf in der Gruppe Bi. Boxplots mit Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min bis Max (-.). Negatives Vorzeichen bedeutet Linkskonvexität, positives Vorzeichen bedeutet Rechtskonvexität.

5.4.2 Knöcherne Durchbauung des Beckenkammspanns

Im Zuge der ventralen Spondylodese wurde bei allen Patienten beider Gruppen ein autologer trikortikaler Beckenkammspan in den frakturierten Wirbelkörper eingebracht. Neben der bereits oben beschriebenen direkt postoperativ bestimmten Spanposition und Spankipfung, wurde zum Vergleich der Langzeitergebnisse beider Gruppen, die knöcherne Durchbauung des Beckenkammspanns beurteilt. Um einen Überblick zu bekommen nach welchem Zeitraum eine knöcherne Durchbauung stattgefunden hatte, erfolgte die Einteilung der Patienten in drei verschiedene Gruppen. In Gruppe 1 war bereits nach <12 Monaten eine knöcherne Durchbauung erkennbar, in Gruppe 2 nach <24 Monaten und in Gruppe 3 erst nach einem Zeitraum >24 Monate. Als Zeichen einer ausbleibenden bzw. noch nicht stattgefundenen Einheilung des Spanes wurde eine weiterhin erkennbare Abgrenzbarkeit der Kontaktflächen von Span zu Grund- oder Deckplatte angesehen. Ein Teil der Patienten beider Gruppen konnte, aufgrund zu früh postoperativ durchgeführter (z.B. 3 Monate postop) Röntgenbilder, qualitativ nicht verwertbarer oder fehlender Röntgen-/CT-Bilder, keiner der drei Gruppen zugeteilt werden.

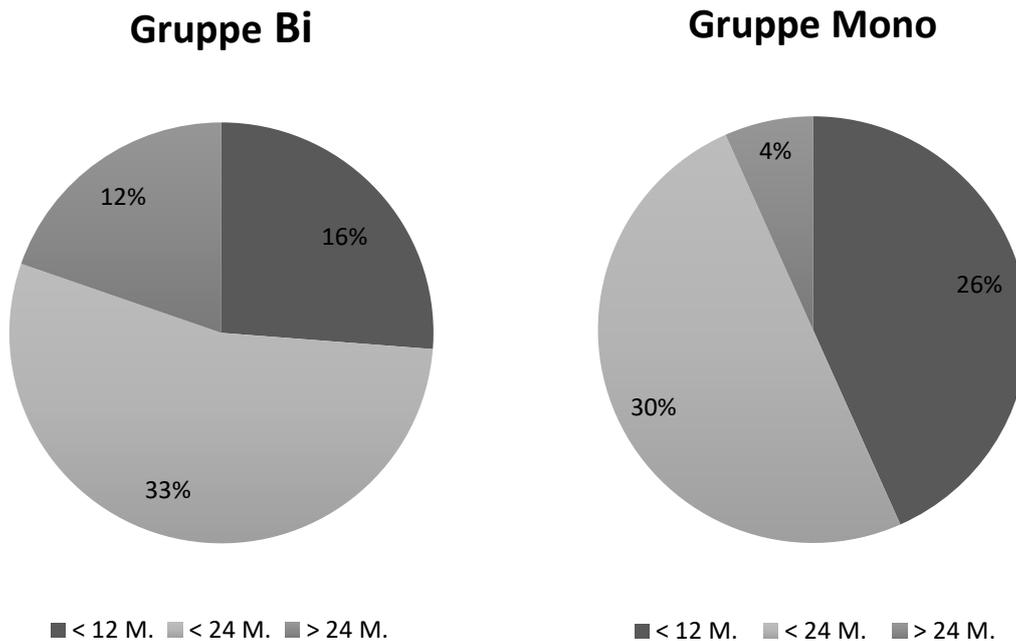


Abb. 42: Häufigkeitsverteilung in Prozent des Zeitraums bis zur knöchernen Durchbauung des Beckenkammspans in der Gruppe Bi (Bild links) und Gruppe Mono (Bild rechts)

Eine knöcherne Durchbauung bereits nach <12 Monaten war in der Gruppe Mono mit 26% häufiger zu sehen als in der Gruppe Bi mit 12%. Der größte Anteil der Patienten sowohl in der Gruppe Mono als auch in der Gruppe Bi zeigte eine gute knöchernen Durchbauung nach <24 Monaten. Die Werte waren sich dabei sehr ähnlich mit einem Anteil von 30% in der Gruppe Mono und 33% in der Gruppe Bi. Patienten bei denen eine knöchernen Durchbauung erst nach > 24 Monaten zu sehen war, machten in der Gruppe Bi mit 12 % einen größeren Anteil aus, als in der Gruppe Mono mit 4%. Bei 29 % der Patienten der Gruppe Bi und 34 % der Patienten der Gruppe Mono lagen keine verwertbaren, zu einem passenden Zeitraum durchgeführten Röntgen- oder CT-Bilder vor oder die Bilder fehlten gänzlich.

Bei einem Patienten der Gruppe Bi hatte sich nach < 12 Monaten seitlich eine knöchernen Spange um den Span gebildet, sodass dieser zwar noch nicht knöchernen eingeeilt aber trotzdem als stabil angesehen wurde.

In der Gruppe Mono zeigte sich zusätzlich, zu dem bereits oben erwähnten relativ großen Anteil der Patienten, bei denen eine knöchernen Durchbauung bereits nach <12 Monaten zu sehen war (26%), bei zwei Patienten eine auffallend frühe knöchernen Durchbauung des Beckenkammspans bereits 5 Monate postoperativ.

6 Diskussion

Die dorsale Stabilisierung mit dorsaler Instrumentierung über Fixateur interne-Implantate gehört derzeit zum Standard in der Versorgung traumatisch bedingter thorakolumbalen Frakturen. Die kurzstreckige dorsale Fixation hat sich dabei in den letzten Jahren zunehmend durchgesetzt, da mithilfe dieser Technik mehr Bewegungssegmente in ihrer Funktion erhalten werden können. Üblicherweise erfolgt die dorsale Fixation dabei bisegmental, wodurch die Funktion zweier Bewegungssegmente verloren geht. Autoren verschiedener Publikationen berichten von Langzeit-Korrekturverlusten und Implantversagen bei dieser Technik (bisegmentale dorsale Fixation) [15, 5, 50]. Immer mehr Operateure favorisieren inzwischen eine monosegmentale dorsale Fixation mit Pedikelschrauben im frakturierten Wirbelkörper und dem cranial benachbarten Wirbel und haben dadurch gleichwertige oder sogar bessere Ergebnisse erzielt [5, 11, 34]. Wichtig ist jedoch zu erwähnen, dass die besseren Ergebnisse nach monosegmentaler dorsaler Fixation, durch eine Vorselektion der Patienten für dieses Verfahren, beeinflusst werden können. Wie auch in unserer Studie ist für die Durchführung einer monosegmentalen dorsalen Fixation meist eine Restwirbelkörperhöhe von mindestens 50 % notwendig. Durch dieses Einschlusskriterium kommt es häufig zu einer Selektion von Patienten mit geringeren Defektverletzungen, meist überwiegend Typ A Frakturen. In den Vergleichsgruppen finden sich dagegen oft Patienten mit schwerwiegenderen Verletzungen z. B. mehr Typ C Frakturen. Dies zeigt auch die Studie von Le Maida et al. [34]. In der Gruppe mit monosegmentaler dorsaler Fixation wurden 4 Typ C Frakturen behandelt im Vergleich zu 7 Typ C Frakturen in der bisegmental dorsal stabilisierten Gruppe. Die geringere Verletzungsschwere bei monosegmental dorsal stabilisierten Patienten, kann somit auch ein Faktor für ein besseres postoperatives Ergebnis sowie bessere Langzeitergebnisse sein.

In der vorliegenden Studie wurden 48 Patienten mit frischer, traumatisch bedingter Verletzung des thorakolumbalen Übergangs und Indikation zur dorso-ventralen Stabilisierung zur Auswertung rekrutiert. Die Patientenauswahl erfolgte anhand der Kriterien aktueller Empfehlungen [60, 39] und in Anlehnung an den Load Sharing Score (LSS) [41]. In beiden Gruppen wurde eine kurzstreckige dorsale Fixation mit darauffolgender monosegmentaler Fusion mittels autologer Beckenkammspan-

Interposition durchgeführt. Bei 23 Patienten erfolgte die dorsale Fixation monosegmental und bei 24 Patienten klassisch bisegmental.

Ziel dieser Studie war es, anhand der Auswertung epidemiologischer, klinischer und radiologischer Daten kurzstreckige dorsale Stabilisierungsverfahren an der thorakolumbalen Wirbelsäule (monosegmentale und bisegmentale dorsale Fixation) miteinander zu vergleichen, und die Vor- und Nachteile beider Verfahren herauszuarbeiten. Beide Gruppen ähnelten sich bezüglich Alter, Frakturhöhe, LSS (7 ± 1) und Begleitverletzungen. Bei OP-Zeiten und Blutverlusten zeigten sich leichte Vorteile zugunsten der monosegmental dorsal stabilisierten Gruppe. Auf die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der erhobenen Daten beider Gruppen wird jedoch im Folgenden noch ausführlich eingegangen. Aus radiologischer Sicht herrschten in beiden Gruppen ähnliche Anfangsbedingungen hinsichtlich der Fehlstellungen und Defekte. Im Zentrum der Diskussion stehen dabei vor allem die Frühergebnisse der Reposition und Instrumentierung beider Verfahren sowie radiologische Verläufe mindestens 6 Monate postoperativ.

6.1 Allgemeine Ergebnisse

6.1.1 Versorgungszeiten und stationärer Aufenthalt

Die Versorgungszeiten beider Gruppen unserer Studie sowie auch die Dauer des stationären Aufenthaltes unterschieden sich nur wenig voneinander. In der Gruppe Bi dauerte die Verlegung der Patienten in das UKS weniger lange und mehr Patienten wurden direkt am Unfalltag noch stationär aufgenommen. Dadurch war die Zeitspanne zwischen Unfalltag und erster Operation in der Gruppe Bi, mit einem Median von 2 Tagen, kürzer als in der Gruppe Mono mit 6 Tagen und ist damit in der Gruppe Bi vergleichbar mit den Ergebnissen einer multizentrischen Studie.

Hier lag der Median vom Unfalltag bis zur ersten operativen Versorgung ebenso bei 2 Tagen [49].

Die Dauer des stationären Aufenthalts war in der Gruppe Mono im Mittel 6 Tage länger und ähnelte auch hier in beiden Gruppen mit einem Mittelwert von 21 Tagen in der Gruppe Bi und 27 Tagen in der Gruppe Mono der oben erwähnten multizentrischen Studie. In Letzterer lag die Dauer des stationären Aufenthalts im Mittel bei 24 Tagen [49]. Der etwas längere stationäre Aufenthalt in der Gruppe Mono lässt sich durch die höhere Anzahl an Polytraumata in dieser Gruppe erklären. Während in der Gruppe Bi

nur ein Patient mit einem Polytrauma vertreten war, lag die Anzahl der Polytraumata in der Gruppe Mono bei 6 Patienten. Die ermittelten Unterschiede bezüglich der Versorgungszeiten und des stationären Aufenthalts waren nicht signifikant.

6.1.2 Operationsdauer

Kürzere Operationszeiten und ein geringerer Blutverlust gehören zu den Faktoren, welche, neben dem Erhalt von Bewegungssegmenten, dazu geführt haben, dass die kurzstreckige dorsale Fixation (von ein bis zwei Bewegungssegmenten) in den letzten Jahren zu einem bevorzugten Operationsverfahren in der Behandlung traumatisch bedingter thorakolumbaler Frakturen geworden ist.

Einen Überblick über die eigenen Ergebnisse und Untersuchungsergebnisse von Vergleichsstudien gibt Tabelle 2.

Tabelle 2: Operationszeiten mono- und bisegmentales Verfahren verschiedener Studien (Mittelwert (\pm SD) in min).

Operationszeiten (min)	Verfahren (Dorsal)	Dorsoventral (Gesamtzeit)	Zeit dorsal	Zeit ventral
Eigene Studie	Mono	258 \pm 0,04	92 \pm 0,02	163 \pm 0,04
	Bi	258 \pm 0,05	101 \pm 0,02	163 \pm 0,03
Reinhold(MCSII) [3]	Bi	286	139	213
Knop [17]	Bi	k.A.	160 \pm 51	170 \pm 39
Knop (MCSI) [20]	Bi	254	134	218
Liu [16]	Mono	159 \pm 37		
	Bi	174 \pm 41		

In unserer eigenen Studie sowie auch bei Knop et al. und der MCSI [28] und MCSII Studie [47] dauerte der ventrale Eingriff länger als der dorsale Eingriff. Grund dafür ist zum einen das beim ventralen Vorgehen bestehende höhere Verletzungsrisiko wichtiger Organstrukturen, wodurch der Eingriff insgesamt schwieriger ist und dementsprechend mehr Zeit in Anspruch nimmt. Außerdem wird zur ventralen Fusion häufig, wie auch in unserem Fall, Beckenkammspan verwendet welcher im selben Eingriff noch entnommen werden muss, was ebenfalls die Operationszeit verlängern kann.

In der Studie von Liu et al. wurde die dorsale Fixation und ventrale Fusion in einem einzeitigen Eingriff durchgeführt. Hierbei zeigen sich deutlich kürzere Operationszeiten

im Vergleich zu unserer Arbeit oder auch den Multicenterstudien [49, 28]. Das bisegmentale Verfahren dauerte mit 174 ± 41 min und das monosegmentale Verfahren mit 159 ± 37 min insgesamt ca. 100 min weniger lange als beispielsweise in unserer Studie. Dieses Ergebnis kann hauptsächlich damit erklärt werden, dass in der Studie von Liu et al. zur ventralen Fusion ein allogenes Transplantat verwendet wurde und so die Zeit für die Entnahme des Beckenkammspanns eingespart werden konnte. Ein weiterer Grund für die kürzeren Operationszeiten, kann das andere operative Vorgehen in diese Studie sein. Im Vergleich zu unserer Studie erfolgte der ventrale Eingriff bei Liu et al. nicht thorakoskopisch sondern offen [39], was möglicherweise zu einer weiteren Zeitersparnis geführt hat.

Diese Aussagen sind jedoch zum Großteil Vermutungen, da in der Studie von Liu et al. ventraler und dorsaler Eingriff in einer Sitzung erfolgten und so keine zeitliche Differenzierung der beiden Eingriffe gemacht werden kann.

Betrachtet man die Operationszeiten hinsichtlich der Art der dorsalen Stabilisierung (monosegmental vs. bisegmental) zeigte sich sowohl in unserer Studie, als auch bei Liu et al. tendenziell eine etwas längere Operationsdauer für das bisegmentale Verfahren. Eine sichere Aussage ist jedoch, aufgrund der fehlenden Angabe zur reinen OP-Zeit des dorsalen Eingriffs, wie bereits oben beschrieben, nicht zu treffen. Die Operationsdauer des dorsalen Eingriffs lag in unserer Studie in der Gruppe Mono bei 83 Minuten, im Vergleich zu 101 Minuten in der Gruppe Bi.

Eine signifikant kürzere Operationsdauer für die monosegmentale dorsale Fixation konnte trotz der vorhandenen Unterschiede nicht gezeigt werden (t-Test; $p=0,974$).

6.1.3 Blutverluste

Einen wichtigen Faktor für das Ausmaß der Blutverluste stellt die Art des gewählten Zugangsverfahrens dar. In unserer Studie war in beiden Gruppen die Thorakoskopie das am häufigsten gewählte Zugangsverfahren für den ventralen Eingriff. Weitere Zugangsverfahren waren die Mini-open oder Mini-Lumbotomie sowie das offene Verfahren.

Für den dorsalen Eingriff gehört das offene Zugangsverfahren in vielen Kliniken nach wie vor zum Standardverfahren, da diese Technik, insbesondere durch die langen

Hebelarme eine sehr gute Reposition im Sinne der Lordosierung, sowie gegebenenfalls eine Wiederherstellung der Höhe durch entsprechende Distraction ermöglicht [29]. In den letzten Jahren favorisieren jedoch immer mehr Kliniken die minimal-invasive dorsale Stabilisierung. Vorteile dieses Vorgehens sind unter anderem neben dem weichteilschonenden Zugang, schnellerer Wundheilung und geringerer postoperativer Schmerzen, ein geringerer Blutverlust [29]. Vanek et al. verglichen in Ihrer Studie zwei Gruppen miteinander, welche beide eine kurzstreckige dorsale Stabilisierung erhalten hatten, jedoch wurden die Pedikelschrauben in der einen Gruppe minimal-invasiv perkutan eingebracht und in der anderen Gruppe „klassisch“ offen. Die Ergebnisse in dieser Studie zeigten einen signifikant niedrigeren Blutverlust in der minimal-invasiv perkutan operierten Gruppe (Tabelle 3) [53].

Die folgende Tabelle zeigt die Blutverluste unserer Studie und von Vergleichsstudien im Gesamten (ventraler + dorsaler Eingriff), sowie getrennt voneinander betrachtet.

Tabelle 3: Blutverluste mono-und bisegmentales Verfahren verschiedener Studien (Mittelwert (\pm SD) in ml).

Blutverluste(ml)	<i>Verfahren</i>	<i>Gesamt</i>	<i>Dorsal</i>	<i>Ventral</i>
Eigene Studie	Mono	449	170	279
	Bi	404	191	234
Reinhold(MCSII) [3]	Bi	958	650	534
Knop [17]	Bi	2010	867	1143
Liu [14]	Mono	213 \pm 103		
	Bi	324 \pm 192		
Knop(MCSI) [20]	Bi	1387	828	876
Vanek [18]	Bi offen		331 \pm 149	
	Bi perkutan		56 \pm 17	

Die Auswertung der Ergebnisse unserer Studie zeigte einen insgesamt (dorsaler + ventraler Eingriff) etwas höheren Blutverlust in der Gruppe Mono mit 449 ml im Gegensatz zu 404 ml in der Gruppe Bi, was jedoch klinisch irrelevant ist. Der für uns besonders interessante Blutverlust des dorsalen Eingriffs war mit 170 ml in der Gruppe Mono nahezu gleich wie in der Gruppe Bi mit 191 ml. Auch Liu et al. verglichen in Ihrer Studie zwei Gruppen miteinander, welche beide eine dorsale Stabilisierung mit Fusion erhalten hatten, dabei wurde die dorsale Stabilisierung, wie in unserer Studie, in einer Gruppe monosegmental und in der anderen Gruppe bisegmental durchgeführt. Der Vergleich der Blutverluste beider Gruppen zeigte dabei einen signifikant niedrigeren Blutverlust zugunsten der monosegmental dorsal stabilisierten Gruppe [11].

Die oben aufgeführte Tabelle 3 zeigt ebenfalls, dass die Blutverluste unserer Arbeit verglichen mit anderen Studien insgesamt sehr niedrig waren. Ein möglicher Grund hierfür kann die Erfahrung und Routine der Operateure sein, welche die von uns untersuchten Operationen durchführten, mit insbesondere dabei langjähriger Erfahrung auf dem Gebiet der Wirbelsäulenchirurgie. Der intraoperative Blutverlust ist jedoch in den meisten Arbeiten und so auch bei uns nur ein Schätzwert, der vom Operateur dokumentiert wird, da eine genaue Messung einen erheblichen Aufwand bedeutet. Erfahrungsgemäß ist die Einschätzung sehr schwierig und weist interindividuelle Unterschiede auf [28].

Des Weiteren ist auch zu erwähnen, dass es sich bei unserer Arbeit um eine monozentrische Studie handelt und die Operationen meist von den selben Operateuren durchgeführt wurden, wohingegen in den oben aufgeführten multizentrischen Studien (MCSI und II) [49, 28] verschiedene Kliniken mit verschiedensten Operateuren involviert waren und es so zu einer deutlich größeren Variation der untersuchten Parameter kommen kann, insbesondere auch bei einem Schätzwert wie dem intraoperativen Blutverlust. Hiermit können möglicherweise auch die deutlich höheren Blutverluste in den multizentrischen Studien von Knop et al. und Reinhold et al. erklärt werden welche im Gesamten > 500 ml größer waren, als in unserer Arbeit (siehe Tabelle 3).

6.2 Radiologische Frühergebnisse

Der Repositionserfolg wird vor allem durch das seitliche und anterior-posteriore Profil der Wirbelsäule sowie die Spinalkanalweite wiedergespiegelt.

6.2.1 Grunddeckplattenwinkel anterior-posterior

In vielen Studien wird der im anterior-posterior Strahlengang gemessene Grunddeckplattenwinkel im Gegensatz zum seitlichen Grunddeckplattenwinkel nicht erwähnt oder nur kurz angeschnitten. Auch in unserer Untersuchung waren die gemessenen Werte und Unterschiede zwischen den Gruppen sehr geringfügig. Der Vollständigkeit halber werden sie hier jedoch aufgeführt.

Sowohl in der Gruppe Mono, als auch der Gruppe Bi kam es bei keinem der Patienten postoperativ zu einer signifikanten Seitneigung (paired t-Test; Gruppe Mono: $p=0,441$, Gruppe Bi: $p=0,206$).

Präoperativ lagen die Werte des monosegmentalen GDW a.-p. im Mittel bei $0^\circ (\pm 3^\circ)$ in der Gruppe Mono bzw. $0^\circ (\pm 4^\circ)$ in der Gruppe Bi. Die postoperativ gemessenen Werte beliefen sich auf im Mittel $0^\circ (\pm 2^\circ)$ in der Gruppe Mono und in der Gruppe Bi auf $-1^\circ (\pm 3^\circ)$ und wurden damit als unerhebliche Abweichungen gewertet. Eine bevorzugte Seitneigung in eine Richtung (links- bzw. rechtskonvex) konnte ebenfalls in keiner der Gruppen festgestellt werden.

Vergleichbare Ergebnisse zeigte auch die Multizenterstudie von Knop et al.. Die präoperativ gemessene Krümmung in a.-p. Projektion betrug hier im Mittel $2,3^\circ$ und wurde auf 1° postoperativ korrigiert [28]. Nahezu identisch mit unseren Ergebnissen, waren auch die Messwerte der 2. Multizenterstudie von Reinhold et al.. Hier lag der GDW a.p. präoperativ bei $0^\circ (\pm 4^\circ)$ und postoperativ bei $0^\circ (\pm 2^\circ)$ [50]. Es zeigte sich somit auch hier keinerlei signifikante prä- oder postoperative Seitneigung.

In beiden Multizenterstudien erfolgte die dorsale Fixation vorwiegend bisegmental. Eine genaue Differenzierung in mono- und bisegmentale dorsale Fixation wurde nicht getroffen. Aufgrund der oben genannten Werte, mit nur minimaler prä- und postoperativer Seitneigung ist jedoch davon auszugehen, dass die Unterschiede, wie auch in unserer Studie zwischen mono -und bisegmentaler dorsaler Fixation geringfügig und nicht nennenswert waren.

6.2.2 Grunddeckplattenwinkel seitlich

Wesentlich mehr Bedeutung wird hingegen in fast allen Studien dem seitlichen Grunddeckplattenwinkel beigemessen, da hier auch deutlich größere Fehlstellungen und Unterschiede erkennbar sind.

Tabelle 4: Seitlicher Grunddeckplattenwinkel für mono- und bisegmentales Verfahren verschiedener Studien.

<i>GDW seitlich</i>	<i>Verfahren</i>	<i>präoperativ</i>	<i>postoperativ</i>	<i>Korrekturumfang</i>
Eigene Studie	Mono	-14 ± 9°	-7 ± 7°	6 ± 6°
	Bi	-13 ± 5°	-4 ± 5°	8 ± 5°
La Maida [13]	Mono	12,78 ± 5,33°	9,72 ± 4,87°	3,06°
	Bi	12,18 ± 5,95°	8,68 ± 4,61	4,11°
Liu [14]	Mono	15,3 ± 6,0°	6,3 ± 4,1°	9,0°
	Bi	18,7 ± 8,4°	6,7 ± 5°	12,0°

In beiden Gruppen unserer Studie konnten ähnlich gute Frühergebnisse hinsichtlich des seitlichen Profils der Wirbelsäule erreicht werden. Die präoperativ gemessenen Werte des seitlichen Grunddeckplattenwinkels waren mit $-14 \pm 9^\circ$ in der Gruppe Mono und $-13 \pm 5^\circ$ in der Gruppe Bi fast identisch, jedoch konnte in der Gruppe Bi eine etwas bessere Reposition bezüglich des seitlichen Profils der Wirbelsäule erreicht werden. Der Korrekturumfang lag in der Gruppe Bi bei $8 \pm 5^\circ$ und war damit etwas größer als in der Gruppe Mono mit $6 \pm 6^\circ$, jedoch nicht signifikant. Die Ergebnisse einer aktuellen Untersuchung von 2016 zeigten sehr ähnliche Ergebnisse. Le Maida et al. verglichen die klinischen und radiologischen Ergebnisse von monosegmentaler und bisegmentaler dorsaler Instrumentierung an der thorakolumbalen Wirbelsäule miteinander, ähnlich zu unserer Studie. Auch hier zeigte sich ein leichter, jedoch nicht signifikanter, Repositionsvorteil zugunsten der bisegmental dorsal stabilisierten Gruppe mit einem Korrekturumfang von $4,11^\circ$, im Vergleich zu $3,06^\circ$ in der monosegmental dorsal stabilisierten Gruppe [5]. Vergleichbare Ergebnisse bezüglich der Reposition des seitlichen Profils lieferte auch die Arbeit von Liu et al. (Tabelle 4). Der Korrekturumfang in der bisegmental dorsal stabilisierten Gruppe war mit 12° größer als in der monosegmental dorsal stabilisierten Gruppe mit 9° [11] aber auch hier nicht signifikant.

Fraglich ist jedoch inwiefern ein Repositionsunterschied von $1-3^\circ$ erwähnenswert ist. Aus unserer Sicht ergibt sich keinerlei klinische Relevanz aus derartig kleinen

Repositionsunterschieden und auch die Angabe von Winkelgraden mit 2 Stellen hinter dem Komma, wie es beispielsweise in der Studie von Le Maida et al. praktiziert wurde, hat für die klinische Praxis keinerlei Bedeutung.

Tendenziell scheint es jedoch von Mittelwert her weniger lordosierte Achsenstellungen nach monosegmentaler Stabilisierung zu ergeben. Ein Grund dafür kann unter anderem der beim monosegmentalen dorsalen Vorgehen beengte Operationsraum sein, da die vier Schanzschrauben, im Gegensatz zur bisegmentalen Technik, in zwei direkt benachbarte Wirbelkörper eingebracht werden müssen. Die caudalen Schanzschrauben verlaufen bei der monosegmentalen Technik außerdem sehr schräg, sodass sie weit nach cranial reichen und bei der Reposition an den cranialen Schanzschrauben vorbeikreuzen müssen. Durch die räumliche Enge ist das kontrollierte hindernisfreie bewegen der Schanzschrauben erschwert und kann möglicherweise eine Ursache für die tendenziell etwas ungünstigere Reposition bei der monosegmentalen dorsalen Fixation sein.

6.2.3 Vor- und Nachteile bei der Reposition hinsichtlich des Spinalkanals

Posttraumatisch bestehende Spinalkanalengen sollten durch die Operation beseitigt oder größtenteils reduziert werden. In der Literatur werden dabei postoperativ verbliebende Engstellen thorakolumbal und lumbal in einem Bereich von bis zu 20% bzw. 25% ohne neurologisches Defizit als unproblematisch angesehen, da sie sich durch ein sogenanntes Remodeling über die Jahre noch zurückbilden [33, 32].

Hervorzuheben ist dabei, dass beide Verfahren unserer Studie den Vorteil der Möglichkeit einer indirekten Spinalkanaldekompensation von dorsal besitzen, welche im Vergleich zu direkten Verfahren über Laminafensterung oder gar Laminektomie weniger invasiv ist. Der Wirbelkörper wird dabei durch das mittels fixierter Frakturbacken gesicherte Distraktionsmanöver aufgerichtet und der Anulus sowie das hintere Längsband gespannt. Nach hinten verlagerte bzw. verkippte Fragmente werden hierdurch indirekt mittels Ligamentotaxis zurückgeschoben [20]. Voraussetzung für das Prinzip der Ligamentotaxis ist ein intaktes Ligamentum longitudinale posterius. Der Vorteil ist dabei, dass der Spinalkanal mittels gedeckter Reposition entlastet werden kann. Unterschiede zwischen dem mono- und bisegmentalen dorsalen Verfahren ergeben sich durch die Unhandlichkeit der kurzen

Fixation beim monosegmentalen Vorgehen, wodurch eine Reposition in dieser Art erschwert wird.

In unserer Arbeit zeigte sich jedoch, dass mit beiden Operationsverfahren präoperativ bestandene Spinalkanalengen effektiv und signifikant reduziert werden konnten. Präoperativ lag die Spinalkanalenge bei im Mittel 21 % in der Gruppe Mono und 27 % in der Gruppe Bi und konnte postoperativ auf 8 % in der Gruppe Mono und 12 % in der Gruppe Bi korrigiert werden. Daraus errechnete sich ein Korrekturumfang von im Mittel 13 % in der Gruppe Mono und 16 % in der Gruppe Bi. In der bisegmental dorsal stabilisierten Gruppe konnte somit wieder ein tendenziell etwas größerer Korrekturumfang erreicht werden, dieser war jedoch nicht signifikant und wie auch im vorherigen Abschnitt ist hier zu erwähnen, dass Korrekturunterschiede von 1-3 % keine klinische Relevanz haben. Das Ausmaß der Spinalkanaldekompensation erscheint den bisherigen Resultaten nach Fixateur interne Stabilisierung ebenbürtig [46].

Ähnliche Ergebnisse zeigten sich auch bei einer multizentrischen Studie, bei der mit dem bisegmentalen dorsalen Verfahren im Mittel eine Korrektur der Spinalkanalenge von 36 % präoperativ auf 19 % postoperativ erreicht werden konnte [49]. In dieser Studie zeigte sich auch, dass die Art der operativen Versorgung entweder von dorsal, von ventral oder kombiniert dorsal und ventral keinen signifikanten Einfluss auf die postoperativ verbliebene Resteinengung des Spinalkanals hatte. Das Ausmaß der präoperativen Enge hatte jedoch bei allen einen signifikanten Einfluss auf das postoperative Ergebnis in Bezug auf die verbliebene Restspinalkanaleinengung [49].

6.3 Instrumentierung

6.3.1 Technik der dorsalen Instrumentierung

Operationstechnische Unterschiede bei der dorsalen Instrumentierung zwischen mono- und bisegmentalem dorsalen Verfahren, ergeben sich hauptsächlich durch die bei der monosegmentalen Technik durchgeführte Pedikelschrauben-Insertion in den frakturierten Wirbelkörper, im Gegensatz zum bisegmentalen dorsalen „Standardverfahren“ bei dem die caudalen Fixateur-Schrauben in den caudal des frakturierten Wirbelkörpers benachbarten intakten bzw. gesunden Wirbelkörper eingebracht werden. Die Pedikelschrauben beim monosegmentalen Verfahren

müssen in der Transversalebene in möglichst großer Divergenz im frakturierten Wirbelkörper und dem cranial angrenzenden Wirbelkörper platziert werden [5]. In der Studie von La Maida et al. wird dabei die Verwendung monoaxialer Pedikelschrauben oder Schanzschrauben empfohlen, welche eine exzellente Stabilität und ausreichende Frakturposition ermöglichen. Abhängig vom Ausmaß der Frakturausdehnung in den Wirbelkörper hinein, muss die Schrägneigung der Schrauben nach caudal noch angepasst werden [28]. Allgemein bietet die kurzstreckige dorsale Fixation biomechanische Vorteile gegenüber längerstreckigen Stabilisierungen. Diese kommen durch den kurzen Hebelarm und die divergierende Ausrichtung der Schrauben in der Seitebene zustande [5].

Pedikelschraubenplatzierung

Sowohl bei der mono- als auch bisegmentalen dorsalen Instrumentierung sind Fehllagen der Pedikelschrauben und Pedikelfrakturen die häufigsten Komplikationen. Da wie bereits oben beschrieben beim monosegmentalen dorsalen Vorgehen im Unterschied zum bisegmentalen Verfahren Pedikelschrauben in den frakturierten Wirbelkörper eingebracht werden, müssen gewisse Grundvoraussetzungen gegeben sein. Ein wesentlicher Punkt ist dabei die Intaktheit der Pedikel als Durchgangspforte für die Schrauben. Außerdem muss der frakturierte Wirbelkörper noch genügend intakte Knochensubstanz aufweisen, um eine sichere Platzierung der Pedikelschrauben zu gewährleisten [28]. Ist dies nicht der Fall kann es zum Absprengen von Wirbelkörperbruchstücken kommen oder im schlimmsten Fall zu einem kompletten Auseinandersprengen des Restwirbelkörpers. In unserer Studie wurde deshalb als Eingangskriterium eine Wirbelkörpermindesthöhe von 50% festgelegt. Die präoperativ gemessene relative mittige Wirbelkörperhöhe unterschied sich nicht signifikant zwischen den Gruppen und lag in der Gruppe Mono bei 67 % und in der Gruppe Bi bei 65 %. Entsprechend der Restwirbelkörperhöhe wäre auch in der Gruppe Bi ein sicheres Einbringen der Pedikelschrauben in den frakturierten Wirbelkörper möglich gewesen. Postoperativ, nach Implantation des Beckenkammspans im zweiten Eingriff kam es in beiden Gruppen zu einem signifikanten Höhenverlust, die Unterschiede zwischen den Gruppen waren jedoch sehr gering und lagen bei 55 % in der Gruppe Mono und 51 % in der Gruppe Bi.

Um das Auftreten intra- und postoperativer Komplikationen zu vermeiden ist eine korrekte und sichere Pedikelschraubenplatzierung von großer Bedeutung [35].

Zdichavsky et al. entwickelten ein sicheres Score-System zur Beurteilung der Pedikelschraubenlage anhand von Schicht (CT) Aufnahmen zumeist postoperativ. Es basiert auf der Relation der Pedikelschrauben zum Pedikel und dem Wirbelkörper und reicht dabei von Grad 1 bis 3 (jeweils a und b). Pedikelschraubenfehlagen von Grad 3 mit oder ohne neurologisches Defizit werden als revisionsbedürftig angesehen.

Obwohl die transpedikuläre Schraubenplatzierung beim monosegmentalen dorsalen Vorgehen technisch anspruchsvoller ist (siehe Methodenteil) zeigten sich in unserer Studie in beiden Gruppen sehr gute Ergebnisse. Die Annahme, dass die besondere Platzierung der Pedikelschrauben beim monosegmentalen Verfahren, das Ergebnis im Sinne vermehrter Fehllagen verschlechtert, bestätigte sich nicht. In der Gruppe Mono lagen 96 % und in der Gruppe Bi 93 % der Fixateur-Schrauben in Idealposition. Eine Schraubenneuplatzierung aufgrund der Fehllage einer Pedikelschraube musste sowohl in der Gruppe Mono, als auch der Gruppe Bi lediglich bei einem Patienten pro Gruppe durchgeführt werden.

Auch in anderen Arbeiten, welche die monosegmentale dorsale Fixierung untersuchten, zeigten sich gute Ergebnisse bezüglich der Pedikelschraubenlage. In der Studie von Junge et al. kam es bei nur 2 von 39 nachuntersuchten Patienten (5 %) zu Schraubenlockerungen. Auch die Ergebnisse einer weiteren Arbeit, welche die mono- und bisegmentale dorsale Stabilisierung verglichen, waren sehr gut [36]. Bei keinem Patienten der monosegmental dorsal fixierten Gruppe dieser Studie, zeigten sich Schraubendislokationen oder -lockerungen. Im Vergleich dazu kam es bei einem Patienten der bisegmental dorsal stabilisierten Gruppe nach einem Jahr zu einem Schraubenbruch. In einer anderen, multizentrischen Studie kam es bei den bisegmental dorsal stabilisierten Patienten intraoperativ zu 18 Schraubenfehlplatzierungen bei insgesamt 699 untersuchten Patienten (ca. 1 %). Postoperative Implantatfehlagen zeigten sich mit einer Häufigkeit von 2 % [50].

Sicher ist zu sagen, dass die Pedikelschraubenplatzierung bei der monosegmentalen dorsalen Fixation, im Vergleich zum bisegmentalen Vorgehen, erschwert ist. Dennoch sind bei der monosegmentalen dorsalen Fixation, bei Berücksichtigung der technischen Besonderheiten, frakturspezifischer Voraussetzungen und der richtigen Indikationsstellung, gleich gute Ergebnisse zu erreichen wie bei der bisegmentalen Technik.

Wirbelkörperresektion

Wie bereits in vorherigen Abschnitten beschrieben, wird bei einer Wirbelkörperzerstörung von 1/3 bis 2/3 die Rekonstruktion der ventralen Säule empfohlen. Bei einer Wirbelkörperzerstörung $<1/3$ ist eine ventrale Rekonstruktion optional [15]. In unserer Studie wurde in beiden Gruppen präoperativ die ventrale, mittige und dorsale Wirbelkörperhöhe gemessen. Die entsprechenden Mittelwerte sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 5: präoperative relative Wirbelkörperhöhe in der Gruppe Mono und Bi der eigenen Studie.

<i>relative WK-Höhe</i>	<i>ventral</i>	<i>mittig</i>	<i>dorsal</i>
Gruppe Mono	50 %	67 %	94 %
Gruppe Bi	70 %	65 %	92 %

Für beide Operationsverfahren unserer Studie galt als notwendiges Einschlusskriterium eine mittige Restwirbelkörperhöhe von mindestens 50 %, welche mit 67 % in der Gruppe Mono und 65 % in der Gruppe Bi auch gegeben war. Postoperativ kam es zu einer signifikanten Höhenminderung mit einer noch verbliebenen mittigen Wirbelkörperhöhe von 51 % in der Gruppe Bi und 55 % in der Gruppe Mono. Ursachen dafür können das intraoperative Entfernen von losen Frakturfragmenten sowie die Spanbettvorbereitung und ein Einsinken des Spans in den Restwirbelkörper sein. Wichtig ist daher eine Berücksichtigung der Höhenverluste bereits bei der OP-Planung. Die präoperativ gemessene relative Wirbelkörperhöhe sollte groß genug sein damit auch postoperativ eine ausreichende Substanz zur Verklebung des transplantierten Knochenspans gegeben ist. Ist der Anteil intakter Knochensubstanz des frakturierten Wirbels zu gering kann es, durch die Last des Spans und darüber liegender Wirbelsäulenanteile, zu einem Durchbruch des Restwirbelkörpers kommen. Daher sollte unserer Erfahrung nach präoperative eine *ventrale* relative Wirbelkörperhöhe von ca. 50 % gegeben sein sowie *mittig* mindestens 2/3 relative Wirbelkörperhöhe.

In beiden Gruppen unserer Studie wurde bei gutem Pressfit des eingefalzten Knochenspans keine zusätzliche ventrale Instrumentierung durchgeführt. Aufgrund der bereits in der ersten Operation erfolgten dorsalen Stabilisierung war in beiden

Gruppen eine zusätzliche ventrale Instrumentierung nicht obligat und im Falle der monosegmentalen dorsalen Instrumentierung aus Platzgründen auch nicht sinnvoll.

6.3.2 Beckenkammspan

In beiden Gruppen unserer Studie erfolgte zusätzlich zur dorsalen mono- oder bisegmentalen Fixation eine Rekonstruktion der ventralen Säule durch Interposition eines autogenen Transplantats in Span-Inlay-Technik in Form eines trikortikalen Beckenkammspans. Diese Art der operativen Fusion gehört nach wie vor zu den Standardverfahren, da autogene Transplantate in Form kortikospongioser Beckenkammspäne in ihrer biologischen Aktivität anderen Materialien überlegen sind. Autogener Knochen weist dabei osteokonduktive Eigenschaften auf und verfügt durch die transplantierten Zellen auch über eigenes osteogenetisches Potenzial [33]. Den biologischen Vorteilen stehen jedoch die begrenzte Verfügbarkeit und potenzielle Komplikationen an der Entnahmestelle gegenüber [32].

Sowohl für die Transplantateinheilung als auch für das kurz- und langfristige Repositionsergebnis sind die Position und Achsneigung des Transplantats relevant. Durch die bei der monosegmentalen dorsalen Fixation erschwerte Orientierung aufgrund der räumlichen Enge und die nach ventral und caudal zielenden Fixateur-Schrauben ist bei dieser Art der dorsalen Fixation im Gegensatz zur bisegmentalen dorsalen Fixation eine schlechtere Spanpositionierung zu erwarten, sowie auch ein häufigeres Auftreten von Spanverkipnungen. Diese Annahme bestätigte sich in unserer Studie. Die zu erzielende mittige oder ventral-mittige Spanposition wurde in unserer Studie mit einem Anteil von 79 % in der Gruppe Mono und 88 % in der Gruppe Bi erreicht. Eine ideale Achsneigung, definiert als Winkel zwischen 0° und 6°, lag in der Gruppe Bi mit einem Anteil von 50 % häufiger vor als in der Gruppe Mono mit 35 %.

Auch eine Verkipfung des Spans nach dorsal trat in der Gruppe Mono mit 31 % deutlich häufiger auf als in der Gruppe Bi mit 4 %. Die Neigung der Spanachse unterschied sich damit signifikant zwischen den Gruppen (t-Test; $p=0,011$). Ursächlich dafür kann bei der monosegmentalen dorsalen Fixation auch ein Auflaufen der Späne auf die caudalen Fixateur-Schrauben sein, wodurch die Tendenz zur leichten Dorsalverkipfung begünstigt wird.

6.4 Radiologische Verläufe

Ziel dieser Untersuchung war es zusätzlich zu den postoperativen Verläufen auch Spätresultate beider Gruppen, mindestens 6 Monate postoperativ, zu untersuchen und zu vergleichen. Beurteilt wurden dabei die Grunddeckplattenwinkel (anterior-posterior und seitlich) sowie die knöcherne Durchbauung des Beckenkammspanns.

6.4.1 Grunddeckplattenwinkel anterior-posterior

Wie schon beim Vergleich der prä- und postoperativen Grunddeckplattenwinkel anterior-posterior beider Gruppen unserer Studie, kam es auch im Verlauf zu keiner signifikanten Veränderung der Seitneigung (paired t-Test; Gruppe Mono: $p=0,594$, Gruppe Bi: $p=0,553$).

Die Werte für den monosegmentalen Grunddeckplattenwinkel anterior-posterior lagen im Verlauf bei im Mittel $-2^\circ (\pm 2^\circ)$ in der Gruppe Mono bzw. $0^\circ (\pm 1^\circ)$ in der Gruppe Bi und sind damit, wie schon die postoperativen Werte, als folgenlose Deviationen zu werten, welche in keiner der Vergleichsstudien überhaupt Erwähnung fanden.

6.4.2 Korrekturverlust im Grunddeckplattenwinkel seitlich

Korrekturverluste nach kurzstreckiger dorsaler Stabilisierung sind häufig und korrelieren oft mit dem Ausmaß der Wirbelkörperzerstörung [28]. Vu et al. berichten in Ihrer Studie dabei von einer engen Korrelation zwischen Korrekturverlust und dem Load Sharing Score (LSS). Die Ergebnisse ihrer Untersuchung ergaben, dass Patienten mit einem Load Sharing Score größer als sieben anfälliger für Korrekturverluste und postoperativ entstandene kyphotische Fehlstellungen sind [28]. Und bereits McCormack et al. empfahlen 1994 eine Wiederherstellung der vorderen Säule ab einem Load Sharing Score von sieben oder mehr um das Ausmaß der Korrekturverluste zu reduzieren.

Neben dem Load Sharing Score spielt auch die Entscheidung in welchen Fällen eine Stabilisierung der ventralen Säule zu erfolgen hat eine wichtige Rolle. Butt et al. berichteten in Ihrer Studie von häufiger auftretenden Korrekturverlusten bei alleiniger dorsaler Instrumentierung im Vergleich zu kombinierten Verfahren, da durch die dorsale Instrumentierung keine Abstützung der ventralen Säule erfolgt. In einer multizentrischen Studie wurde der Einfluss von Verletzungen der vorderen

lasttragenden Säule auf das radiologische Nachuntersuchungsergebnis untersucht. Es zeigte sich, dass die ventrale Verletzungskomponente (Typ A1 und A2 vs. Typ A3) keinen Einfluss auf die mono- und bisegmentalen Grunddeckplattenwinkel zur Nachuntersuchung hatte. Jedoch waren nach kombiniert dorso-ventraler Behandlung, im Vergleich zur isoliert dorsalen Behandlung, signifikant bessere Ergebnisse für den mono- und bisegmentalen Grunddeckplattenwinkel mit geringeren Korrekturverlusten zu erkennen [50].

Auch in unserer Arbeit zeigten sich bei beiden Gruppen Korrekturverluste der postoperativ ursprünglich effektiv korrigierten kyphotischen Fehlstellung. Die Unterschiede zwischen den Gruppen waren jedoch minimal und klinisch nicht relevant mit einem Korrekturverlust von 3° in der Gruppe Mono und 4° in der Gruppe Bi (t-Test; p=0,661).

Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht der postoperativen und im Verlauf gemessenen sagittalen Grunddeckplattenwinkel unserer Arbeit im Vergleich zu anderen Studien.

Tabelle 6: Seitlicher monosegmentaler Grunddeckplattenwinkel für mono- und bisegmentales Verfahren verschiedener Studien (Mittelwert (±SD)).

<i>GDW seitlich</i>	<i>Verfahren</i>	<i>postop</i>	<i>Verlauf</i>	<i>Korrekturverlust</i>
Eigene Studie	Mono	-7° ± 7°	-9° ± 6°	3° ± 5°
	Bi	-4° ± 5°	-8° ± 9°	4° ± 6°
Li [22]	Mono	6,5° ± 6,5°	9,5° ± 6,4°	ca. 3°
	Bi	7,1° ± 6,9°	7,5° ± 5,2°	ca. 0,4°
La Maida [13]	Mono	9,72° ± 4,87°		3,75° ± 3,23°
	Bi	8,68° ± 4,61°		1,23° ± 1,29°
Junge [20]	Mono	5,2°	8,1°	ca. 3°
Briem [24]	Bi			4,24 ± 1,2°

Die in unseren beiden Patientenkollektiven gemessenen Grunddeckplattenwinkel waren sowohl postoperativ als auch im Verlauf vergleichbar mit den Ergebnissen anderer Studien. In den Untersuchungen von Li et al. und La Maida et al. waren im Gegensatz zu unserer Untersuchung etwas größere Korrekturverluste in der monosegmental dorsal stabilisierten Gruppe zu erkennen. Ähnliche Ergebnisse zeigte auch eine Arbeit, welche Langzeitergebnisse traumatisch bedingter Frakturen des thorakolumbalen Übergangs nach kombiniert dorso-ventraler Stabilisierung untersuchte. Die dorsale Instrumentierung wurde dabei monosegmental durchgeführt. Bei den nach durchschnittlich 27 Monaten nachuntersuchten Patienten zeigte sich ein

Cobb-Winkel von im Mittel $8,1^\circ$ im Vergleich zu direkt postoperativ gemessenen $5,2^\circ$ [28]. Eine andere Studie, welche ebenfalls Langzeitergebnisse nach kombiniert dorso-ventraler Stabilisierung verglich, wobei die dorsale Instrumentierung in dieser Studie bisegmental erfolgte, gab Korrekturverluste von $4,24 \pm 1,2^\circ$ des Grund-Deckplatten-Winkels nach $12 \pm 2,4$ Monaten an [32].

Ursächlich für Unterschiede in den postoperativen Ergebnissen und auch Langzeitverläufen zwischen mono- und bisegmentaler dorsaler Stabilisierung, kann auch die Biomechanik der beiden unterschiedlichen Techniken sein. Wei et al. untersuchten in Ihrer Studie an einem Wirbelsäulenmodell die biomechanischen Unterschiede zwischen mono- und bisegmentalen dorsalen Verfahren. Dabei zeigte sich bei beiden Techniken direkt nach dem Eingriff („postoperativ“) eine gleich gute Stabilität. Beide Techniken führten zu einer signifikanten Reduktion der Beweglichkeit in den stabilisierten Segmenten. Jedoch zeigte sich bei der monosegmentalen Technik ein geringerer Ermüdungswiderstand während axialer Rotation und Seitbiegung, verglichen mit der bisegmentalen Technik [28].

Insgesamt lässt sich feststellen, dass geringe Korrekturverluste nach Stabilisierung nicht zu vermeiden sind und letztendlich eine monosegmentale dorsale Fixation im weiteren Verlauf und im Vergleich zur klassischen bisegmentalen Instrumentierung keinen Nachteil diesbezüglich verursacht. Jegliche signifikanten Unterschiede in anderen Studien bezogen sich auf klinisch irrelevante 2 bis 3° Unterschiede im Korrekturverlust.

6.4.3 Knöcherner Durchbauung des Beckenkammspans

Wie bereits oben beschrieben gehört der Einsatz autogener Transplantate in Form kortikospongiöser Beckenkammspäne nach wie vor zu den Standardverfahren bei der operativen Fusion traumatischer Wirbelsäulenschäden [23, 27]. Trotz der biologischen Überlegenheit autogener Transplantate gegenüber den bisher verfügbaren alternativen Materialien, gibt es auch einige negative Aspekte. Der zur Entnahme des Transplantats erforderliche Zweiteingriff ist mit einer entsprechenden Komorbidität assoziiert und bedeutet zusätzliche Komplikationen [32, 52]. Insbesondere besteht auch die Gefahr einer ausbleibenden knöchernen Fusion des Transplantats. In der

Literatur wird dabei von Pseudarthrosraten zwischen 17 und 35 % für spinale Fusionseingriffe an der Wirbelsäule berichtet [32, 52].

Briem et al. untersuchten in ihrer Studie 30 Patienten mit traumatischen Frakturen des thorakolumbalen Übergangs die wie in unserer Arbeit kombiniert dorso-ventral stabilisiert worden waren. Jedoch wurde im Gegensatz zu unserer Untersuchung, zusätzlich zur Implantation des trikortikalen Beckenkammspans, eine Osteosynthese durchgeführt. Schwerpunkt der Studie war die Ermittlung der knöchernen Einheilung des Transplantats ca. 1 Jahr postoperativ. Bei 77% der nachuntersuchten Patienten wurde dabei eine vollständige Integration der eingebrachten Beckenkammspäne beobachtet. Eine partielle Fusion lag bei 5 Patienten vor und bei 2 Patienten war es zur Osteonekrose des Transplantats mit nachfolgendem Spanbruch gekommen. In einer anderen Studie, welche die klinischen und radiologischen Ergebnisse und Fusionsraten bei Verwendung trikortikaler Beckenkammspäne mit Titankäfig-Implantaten verglich, zeigte sich in der Gruppe mit Implantation von Beckenkammspänen bei 72 % der Patienten in der letzten Nachuntersuchung (nach ca. 5 Jahren) eine vollständige knöcherne Fusion. Bei 28 % der Patienten war noch keine vollständige knöcherne Durchbauung zu sehen [23].

Da in unseren Patientenkollektiven nicht bei allen Patienten Röntgen- und CT-Aufnahmen zum gleichen Nachuntersuchungszeitpunkt vorlagen, erfolgte eine Zuordnung der Patienten in drei verschiedene Gruppen. Bei der 1. Gruppe war eine knöcherne Durchbauung bereits nach < 12 Monaten zu erkennen, in der 2. Gruppe nach < 24 Monaten und in der 3. Gruppe erst nach > 24 Monaten. Um die Einheilung der eingebrachten Beckenkammspäne zu bewerten wurden in erster Linie bereits angefertigte Computertomografie-Aufnahmen oder wenn kein CT vorhanden, konventionelle Röntgenaufnahmen in 2 Ebenen verwendet. Bei einem Teil der Patienten, konnte die definitive Beurteilung der knöchernen Fusion jedoch aufgrund schlechter Qualität des Bildmaterials, nicht durchgeführt werden. Als vollständige Fusion wurde eine lückenlose knöcherne Überbrückung der angrenzenden Bandscheibenfächer ohne Nachweis strahlentransparenter Areale zwischen Transplantat und unmittelbar benachbarter Grund- und Deckplatte gewertet.

Die ausgewerteten Röntgen- und CT-Aufnahmen zeigten, dass eine knöcherne Durchbauung bereits nach weniger als 12 Monaten in der Gruppe Mono mit einem Anteil von 26% etwas häufiger war, als in der Gruppe Bi mit 12%. Eine vollständige

knöcherne Fusion des Beckenkammspanns nach weniger als 24 Monaten war sowohl in der Gruppe Mono, als auch der Gruppe Bi, bei circa der Hälfte der Patienten zu erkennen. Der Anteil der Patienten, mit knöcherner Durchbauung des Transplantats, erst nach mehr als 24 Monaten, war in der Gruppe Bi mit 12 % höher als in der Gruppe Mono mit 9 %.

Ursächlich für eine nicht oder unvollständig stattfindende Fusion kommen neben Alter und Geschlecht auch äußere Einflüsse, wie die Exposition gegenüber Nikotin, nicht steroidalen Antiphlogistika (NSAR) und Kortison in Betracht [9, 61]. Des Weiteren ist als Ursache für eine gestörte Fusion auch eine Durchblutungsstörung möglich. Bisher ist jedoch nicht bekannt inwieweit nach einem Trauma Perfusion und Nutrition des Wirbelkörpers dauerhaft gestört bleiben [32].

Für das Vorgehen bei ausbleibender knöcherner Fusion gibt es bisher kein standardisiertes Vorgehen. Briem et al. empfehlen in ihrer Studie, bei partieller Spaneinheilung, eine abwartende Haltung mit Durchführung klinischer und konventionell-radiologischer Verlaufskontrollen. Liegt ein Spanbruch vor, sollte eine engmaschigere Anbindung des Patienten mit Durchführung von CT-Verlaufskontrollen erfolgen. Im Falle begleitender Insuffizienz der instrumentierten Implantate mit radiologisch relevantem Korrekturverlust wird ein unverzügliches Eingreifen angeraten [52].

Die Ergebnisse unserer Studie zeigten, dass sich die Annahme einer Beeinträchtigung der knöchernen Einheilung des Beckenkammspanns, durch die bei der monosegmental dorsal instrumentierten Gruppe im frakturierten Wirbelkörper positionierten Fixateur-Schrauben, nicht bestätigte. Im Gegensatz dazu war in der Gruppe Mono sogar häufiger eine schnelle knöcherne Fusion des Beckenkammspanns zu erkennen (nach <12 Monaten) und der Anteil der Patienten bei denen eine knöcherne Einheilung erst nach >24 Monaten stattgefunden hatte war kleiner als in der bisegmental dorsal stabilisierten Gruppe. Tatsächlich wurde biomechanisch nachgewiesen, dass eine günstige Spankompression und Auflagefläche instrumentell moduliert werden können [45].

Es ist davon auszugehen, dass die kurzstreckigere und direkt auf dem Span einwirkende Klammerwirkung des Fixateurs somit durch eine erhöhte Stabilität bzw. Kompression die ossäre Einheilung begünstigte.

7 Einschränkung und Ausblick

Einschränkung des Studiendesigns

Bei kritischer Betrachtung unseres Studiendesigns müssen gewisse Einschränkungen und Schwächen genannt werden. Zum einen sind die Daten unserer Studie prospektiv erfasst, jedoch retrospektiv ausgewertet worden sodass keine Randomisierung erfolgte, weshalb keine identische Verteilung potenzieller Störgrößen der zu vergleichenden Patientengruppen, wie beispielsweise Alter oder Geschlecht, vorlag. Es wurde jedoch mit Festlegung von Ein- und Ausschlusskriterien darauf geachtet, möglichst ähnliche, gut vergleichbare Patientengruppen zu erzeugen. Desweiteren war die Fallzahl unserer Studie relativ gering, allerdings aufgrund der starken Selektion der Patienten (siehe Ein- und Ausschlusskriterien) die Ergebnisse besser vergleichbar. Mithilfe einer Power-Analyse wurde die notwendige Fallzahl überprüft, die eine signifikante und klinisch relevante Unterscheidung der Ergebnisse ermöglichte.

Prinzipiell wird bei Involvierung verschiedener Untersucher und klinischer Zentren meist eine höhere medizinische Aussagekraft erreicht, sodass es wünschenswert wäre weitere Multicenterstudien im Rahmen der Arbeitsgruppen großer Fachgesellschaften zu initiieren. Begleitend wäre hierbei auch an eine noch umfangreichere Verlaufsbeurteilung der Patienten zu denken. Beispielsweise könnten neben der Auswertung radiologischer Nachkontrollen auch klinische Nachuntersuchungen erfolgen und die Patienten mithilfe spezieller Fragebögen unter anderem zu ihrer allgemeinen Zufriedenheit, dem Zurechtkommen im Alltag und der beruflichen Wiedereingliederung befragt werden.

Ausblick

Ziel dieser Arbeit war es mögliche Unterschiede zwischen zwei verschiedenen Techniken der dorso-ventralen Fixation frischer traumatischer Wirbelkörperfrakturen (monosegmental vs. bisegmental) zu finden, sowie auch Vor- und Nachteile der beiden Techniken herauszuarbeiten. Zusammenfassend ist zu sagen, dass bei allen untersuchten Parametern keinerlei signifikante Unterschiede zwischen der bisher weniger häufig durchgeführten monosegmentalen dorsalen Fixation und der „klassischen“ bisegmentalen dorsalen Fixation gefunden werden konnten. Auch Vergleichsstudien zeigten nur minimale nicht signifikante Unterschiede, welche somit, wie auch in unserer Studie, als klinisch irrelevant gewertet wurden. Bezüglich der Vor-

und Nachteile ist hervorzuheben, dass aus der monosegmentalen dorsalen Fixation keinerlei Nachteile oder „schlechtere“ Ergebnisse resultieren, sondern sogar Vorteile wie beispielsweise eine tendenziell bessere und schnellere Einheilung des zur ventralen Fusion verwendeten tricorticalen Beckenkammspans (siehe Diskussionsteil). Aufgrund dieser Erkenntnisse wäre es wünschenswert in Zukunft die monosegmentale dorsale Fixation an sich noch weiter zu fördern und stärker zu etablieren, so dass diese Art der dorso-ventralen Fixation ebenso zum Frakturversorgungs-Repertoire gezählt werden kann, wie es die bisegmentale dorso-ventrale Stabilisierung bereits ist.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Aebli N., Timm K., Patrick M., Krebs J., Short-segment posterior instrumentation combined with anterior spondylodesis using an autologous rib graft in thoracolumbar burst fractures. *Acta Orthop*, 2014. **85** (1):84-90.
- [2] Altay M., Ozkurt B., Aktekin CN., Ozturk AM., Dogan O., Tabal AY., Treatment of unstable thoracolumbar junction burst fractures with short- or long-segment posterior fixation in magerl type a fractures. *Eur Spine J*, 2007. **16** (8):1145-1155.
- [3] Anghel S., Petrisor M., Buicu CF., Marton D., Bataga T., Predictive factors for postoperative deformity in thoracolumbar burst fractures: a statistical approach. *Acta Orthop Traumatol Turc*, 2015. **49** (2):133-138.
- [4] Aono H., Tobimatsu H., Ariga K., Kuroda M., Nagamoto Y., Takenaka S., Furuya M., Iwasaki M., Surgical outcomes of temporary short- segment instrumentation without augmentation for thoracolumbar burst fractures. *Injury*, 2016. **47** (6):1337-1344.
- [5] Beck M., Moritz K., Gierer P., Gradl G., Harms C., Mittlmeier T., [Intraoperative control of pedicle screw position using three-dimensional fluoroscopy. A prospective study in thoracolumbar fractures]. *Z Orthop Unfall*, 2009. **147**:37-42
- [6] Been HD., Poolman RW., Ubags LH., Clinical outcome and radiographic results after surgical treatment of post-traumatic thoracolumbar kyphosis following simple type A fractures. *Eur Spine J*, 2004. **13** (2):101-107.
- [7] Bellabarba C., Zhang F., Wagner T., Controversies in TL classifications. What are we actually treating? Some perspectives on the evolution of spine fracture classifications systems. *Unfallchirurg*, 2012. **115** (12):1056-1060.
- [8] Bork H., Fischer K., Fromm B., Schmidt J., Simmel S., Veihelmann A., Glaesener J.-J., Böhle E., Ernst U., Pullwitt V., Krause P., Vogt L., Panning S., Greitemann B., Horst H., S2k-Leitlinie „Rehabilitation nach traumatischen Frakturen der Brust-und Lendenwirbelsäule ohne neurologische Ausfälle“. AWMF-Leitlinien Register, 2016. 033/043.
- [9] Briem D., Rueger J.M., Linhart W., Osseous integration of autogenous bone grafts following combined dorso-ventral instrumentation of unstable thoracolumbar spine fractures. *Unfallchirurg*, 2003. **106**:195-203.
- [10] Briem D., Windolf J., Lehmann W., Begemann P.G.C., Meenen N.M., Rueger J.M., Linhart W., Bone grafts endoscopically applied to the spine. Results and therapeutic consequences. *Unfallchirurg*, 2004. **107**:1152-1160.
- [11] Butt MF., Farooq M., Mir B., Dhar AS., Hussain A., Mumtaz M., Management of unstable thoracolumbar spinal injuries by posterior short segment spinal fixation. *Int Orthop*, 2007. **31** (2): 259-64.
- [12] Celebi L., Dogan O., Muratli HH., Yagmurlu MF., Bicimoglu A., The effectiveness of short-segment posterior instrumentation of thoracolumbar burst fractures. *Acta Orthop Traumatol Turc*, 2007. **41** (3):183-189.
- [13] Chen JX., Xu DL., Sheng SR., Goswami A., Xuan J., Jin HM., Chen J., Chen Y., Zheng ZM., Chen XB., Wang XY., Risk factors of kyphosis recurrence after implant removal in thoracolumbar burst fractures following posterior short-segment fixation. *Int Orthop*, 2016. **40** (6): 1253-1260.

- [14] Dick W., Rickert M., History of internal fixators. The subsequent importance for spinal surgery. *Unfallchirurg*, 2015. **118** Suppl 1:66-72.
- [15] Dick W., The "fixateur interne" as a versatile implant for spine surgery. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1987. **12**:882-900.
- [16] Dobran M., Nasi D., Brunozzi D., Di Somma L., Gladi M., Iacoangeli M., Scerrati M., Treatment of unstable thoracolumbar junction fractures: short-segment pedicle fixation with inclusion of the fracture level versus long-segment instrumentation. *Acta Neurochir*, 2016. **158** (10):1883–1889.
- [17] Eno JJ., Chen JL., Mitsunaga MM., Short Same-Segment Fixation of Thoracolumbar Burst Fractures. *Hawai J Med Public Health*, 2012. **71** (1): 19-22.
- [18] Gajjar SH., Menon HJ., Chaudhari N., Chaudhari V., Outcomes of Short Segment Posterior Instrumentation in Unstable Thoracolumbar Fractures. *J Clin Diagn Res.*, 2016. **10** (11):RC04-RC08.
- [19] Gelb D., Ludwig S., Karp J.E., Chung E.H., Werner C., Kim T., Poelstra K., Successful Treatment of Thoracolumbar Fractures With Short-segment Pedicle Instrumentation. *J Spinal Disord Tech*, 2010. **23**:293–301.
- [20] Gonschorek O., Spiegl U., Weiss T., Patzold R., Hauck S., Bühren V., [Reconstruction after spinal fractures in the thoracolumbar region]. *Unfallchirurg*, 2011. **114**:26-34.
- [21] Gühring T., Raible C., Matschke S., Percutaneous stabilization of thoracolumbar fractures. Techniques of fracture reduction and spinal cord decompression. *Unfallchirurg*, 2013. **116** (8):749-754.
- [22] Ibrahim FMF., Abd EL-rady M., Mono segmental fixation of selected types of thoracic and lumbar fractures; a prospective study. *Int Orthop*, 2016. **40**: 1083-1089.
- [23] Junge A., Gotzen L., von Garrel T., Ziring E., Giannadakis K., [Monosegmental internal fixator instrumentation and fusion in treatment of fractures of the thoracolumbar spine. Indications, technique and results]. *Unfallchirurg*, 1997. **100**:880-887.
- [24] Kang CN., Cho JL., Suh SP., Choi YH., Kang JS., Kim YS., Anterior Operation for Unstable Thoracolumbar and Lumbar Burst Fractures - Tricortical Autogenous Iliac Bone Versus Titanium Mesh Cage. *J Spinal Disord Tech*, 2013. **26**:E265-E271.
- [25] Katsuura Y., Osborn JM., Cason GW., The epidemiology of thoracolumbar trauma: A meta-analysis. *J Orthop*, 2016. **13** (4):383-388.
- [26] Khare S., Sharma V., Surgical outcome of posterior short segment trans-pedicle screw fixation for thoracolumbar fractures. *J Orthop*, 2013. **10** (4):162-167.
- [27] Knop C., Bastian L., Lange U., Oeser M., Zdichavsky M., Blauth M., Complications in surgical treatment of thoracolumbar injuries. *Eur Spine J*, 2002. **11**:214-226.
- [28] Knop C., Blauth M., Bühren V., Hax P.M., Kinzl L., Mutschler W., Pommer A., Ulrich C., Wagner S., Weckbach A., Wentzensen A., Worsdorfer O., [Surgical treatment of injuries of the thoracolumbar transition. 2: Operation and roentgenologic findings]. *Unfallchirurg*, 2000. **103**:1032-1047.
- [29] Knop C., Kranabetter T., Reinhold M., Blauth M., Combined posterior–anterior stabilisation of thoracolumbar injuries utilising a vertebral body replacing implant. *Eur Spine J*, 2009. **18**:949-963.

- [30] Kubosch D., Ruhr J., Izadpanah K., Hammer TO., Südkamp NP., Strohm PC., Radiological comparison between two procedures for ventral spondylodesis: autologous iliac crest bone graft vs. bovine bone graft. *Unfallchirurg*, 2012. **115** (10):897-902.
- [31] 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. *Springer Plus*, 2015. **4**:204.
- [32] Kuner E.H., Schlickewei W., Hauser U.,Kuner A., [Reconstruction of open width of the spinal canal by internal fixator instrumentation and remodeling]. *Chirurg*, 1996. **67**:531-538.
- [33] Kuner E.H., Schlickewei W., Kuner A.,Hauser U., Restoration of the spinal canal by the internal fixator and remodeling. *Eur Spine J*, 1997. **6**:417-422.
- [34] La Maida GA., Luceri F., Ferraro M., Ruosi C., Mineo GV., Misaggi B., Monosegmental vs bisegmental pedicle fixation for the treatment of thoracolumbar spine fractures. *Injury*, 2016. **47** Suppl 4: S35-S43.
- [35] Lendemans S., Hussmann B., Kauther MD., Nast-Kolb D., Taeger G., Minimally invasive dorsal stabilization of the thoracolumbar spine. *Unfallchirurg*, 2011. **114**:149-160.
- [36] Li X., Ma Y., Dong J., Zhou XG., Li J., Retrospective analysis of treatment of thoracolumbar burst fracture using mono-segment pedicle instrumentation compared with short-segment pedicle instrumentation. *Eur Spine J*, 2012. **21**:2034-2042.
- [37] Lin YC., Fan KF., Liao JC., Two additional augmenting screws with posterior short-segment instrumentation without fusion for unstable thoracolumbar burst fracture - Comparisons with transpedicular grafting technique. *Biomed J*, 2016. **39** (6):407-413.
- [38] Lind M., Büniger C., Factors stimulating bone formation. *Eur Spine J*, 2001. **10** Suppl **2**:S102-S109.
- [39] Liu L., Gan Y., Zhou Q., Wang H., Dai F., Luo F., Hou T., Zhang C., Zhao C., Zhang J., Xu J., Lü Y., Improved Monosegment Pedicle Instrumentation for Treatment of Thoracolumbar Incomplete Burst Fractures. *Biomed Res Int*, 2015. 357206, 7 pages.
- [40] Liu S., Li H., Liang C., Long H., Yu B., Chen B., Han G., Zhang X., Li F.,Wei F., Monosegmental transpedicular fixation for selected patients with thoracolumbar burst fractures. *J Spinal Disord Tech*, 2009. **22**:38-44.
- [41] McCormack T., Karaikovic E.,Gaines R.W., The load sharing classification of spine fractures. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1994. **19**:1741-1744.
- [42] McDonnell M., Shah KN., Paller DJ., Thakur NA., Koruprolu S., Palumbo MA., Daniels AH., Biomechanical Analysis of Pedicle Screw Fixation for Thoracolumbar Burst Fractures. *Orthopedics*, 2016. **39** (3): 514-518.
- [43] Oh T., Scheer JK., Fakurnejad S., Dahdaleh NS., Smith ZA., Minimally invasive spinal surgery for the treatment of traumatic thoracolumbar burst fractures. *J Clin Neurosci*, 2015. **22** (1):42-47.
- [44] Park SR., Na HY., Kim JM., Eun DC., Son EY., More than 5-Year Follow-up Results of TwoLevel and Three-Level Posterior Fixations of Thoracolumbar Burst Fractures with Load-Sharing Scores of Seven and Eight Points. *Clin Orthop Surg*, 2016. **8** (1):71-77.
- [45] Pizanis A., Holstein JH., Vossen F., Burkhardt M., Pohlemann T., Compression an contact area of anterior strut grafts in spinal instrumentation: a biomechanical study. *BMC Musculoskelet Disord*, 2013. **14**: 254.

- [46] Pizanis A., Mutschler W., Dorsal stabilization of fractures of the thoracic and lumbar spine by external fixator-technique and outcome. *Zentralbl Chir.*1998. **123** (8): 936-43.
- [47] Radcliff K., Kepler CK., Rubin TA., MaaiehM., Hilibrand AS., Harrop J., Rihn JA., Albert TJ., Vaccaro AR., Does the load-sharing classification predict ligamentous injury, neurological injury, and the need for surgery in patients with thoracolumbar burst fractures?. *J Neurosurg Spine*, 2012. **16** (6):534-538.
- [48] Reinhold M., Knop C., Beisse R., Audige L., Kandziora F., Pizanis A., Pranzl R., Gercek E., Schultheiss M., Weckbach A., Buhren V.,Blauth M., [Operative treatment of traumatic fractures of the thoracic and lumbar spinal column. Part I: epidemiology]. *Unfallchirurg*, 2009. **112**:33-42, 44-35
- [49] Reinhold M., Knop C., Beisse R., Audige L., Kandziora F., Pizanis A., Pranzl R., Gercek E., Schultheiss M., Weckbach A., Buhren V.,Blauth M., [Operative treatment of traumatic fractures of the thorax and lumbar spine. Part II: surgical treatment and radiological findings]. *Unfallchirurg*, 2009. **112**:149-167.
- [50] Reinhold M., Knop C., Beisse R., Audige L., Kandziora F., Pizanis A., Pranzl R., Gercek E., Schultheiss M., Weckbach A., Buhren V.,Blauth M., [Operative treatment of traumatic fractures of the thorax and lumbar spine. Part III: Follow up data]. *Unfallchirurg*, 2009. **112**:294–316.
- [51] Resch H., Rabl M., Klampfer H., Ritter E., Povacz P., Surgical vs. conservative treatment of fractures of the thoracolumbar transition. *Unfallchirurg*, 2000. **103** (4):281-288.
- [52] Sandhu HS., Grewal HS., Parvataneni H., Bone grafting for spinal fusion, *Orthop Clin North*, 1999. **30** (4):685-698.
- [53] Scharf H., Rüter A., Pohlemann T., Kohn D., Marzi I.,Günther K., (2008) *Orthopädie und Unfallchirurgie: Facharztwissen nach der neuen Weiterbildungsordnung*, Urban & Fischer / Elsevier. 644.
- [54] Scheer JK., Bakhsheshian J., Fakurnejad S., Oh T., Dahdaleh NS., Smith ZA., Evidence-Based Medicine of Traumatic Thoracolumbar Burst Fractures: A Systematic Review of Operative Management across 20 Years. *Global Spine J*, 2015. **5** (1):73-82.
- [55] Spiegl UJ., Jarvers JS., Glasmacher S., Heyde CE., Josten C., Release of moveable segments after dorsal stabilization: Impact on affected discs. *Unfallchirurg*, 2016. **119** (9):747-754.
- [56] Sun C., Guan G., Liu X., Zhang H., Wang B., Comparison of short-segment pedicle fixation with versus without inclusion of the fracture in the treatment of mild thoracolumbar burst fractures. *Int J Surg.*, 2016. **36**:352-357.
- [57] Theiss SM., Boden SD., Hair G., Titus L., Morone MA., Uqbo J., The effect of nicotine on gene expression during spine fusion. *Spine*, 2000. **25** (20):2588-2594.
- [58] Vaccaro AR., Zeiller SC., Hulbert RJ., Anderson PA., Harris M., Hedlund R., Harrop J., Dvorak M., Wood K., Fehlings MG., Fisher C., Lehman RA Jr, Anderson DG., Bono CM., Kuklo T., Oner FC., The Thoracolumbar Injury Severity Score A Proposed Treatment Algorithm. *J Spinal Disord Tech*, 2005. **18** (3):209-215.
- [59] Vanek P., Bradac O., Konopkova R., De Lacy P., Lacman J., Benes V., Treatment of thoracolumbar trauma by short-segment percutaneous transpedicular screw instrumentation: prospective comparative study with a minimum 2-year follow-up. *J Neurosurg Spine*, 2014. **20**:150-156.

- [60] Verheyden A.P., Holz A., Ekkerlein H., Gercek E., Hauck S., Josten C., Kandziora F., Katscher S., Knop C., Lehmann W., Meffert R., Muller C.W., Partenheimer A., Schinkel C., Schleicher P., Schnake K.J., Scholz M., Ulrich C., [Recommendations for the treatment of thoracolumbar and lumbar spine injuries.]. *Unfallchirurg*, 2011. **114**:9-16.
- [61] Vu TT., Morishita Y., Yague I., Hayashi T., Maeda T., Shiba K., Radiological Outcome of Short Segment Posterior Instrumentation and Fusion for Thoracolumbar Burst Fractures. *Asian Spine J*, 2015. **9**(3):427-432.
- [62] Wei F., Zhou Z., Wang L., Liu S., Zhong R., Liu X., Cui S., Pan X., Gao M., Zhao Y., Biomechanical evaluation of monosegmental pedicle instrumentation in a calf spine model and the role of fractured vertebrae in screw stability. *BMC Vet Res*, 2016. **18**:12-57.
- [63] Weiß T., Hauck S., Bühren V., Gonschorek O., Repositioning options with percutaneous dorsal stabilization. For burst fractures of the thoracolumbar junction. *Unfallchirurg*, 2014. **117** (5):428-436.
- [64] Whang P.G., Vaccaro A.R., Thoracolumbar fracture: posterior instrumentation using distraction and ligamentotaxis reduction. *J Am Acad Orthop Surg*, 2007. **15**:695-701.
- [65] Xu G., Fu X., Du C., Ma J., Li Z., Tian P., Zhang T., Ma X., Biomechanical comparison of monosegment transpedicular fixation with short-segment fixation for treatment of thoracolumbar fractures: A finite element analysis. *Proc Inst Mech Eng H*, 2014. **228** (10):1005-1013.
- [66] Yung A. WY., Thng P. LK., Radiological Outcome of Short Segment Posterior Stabilisation and Fusion in Thoracolumbar Spine Acute Fracture. *Ann Acad Med Singapore*, 2011. **40**:140-4.

9 Dank

Mein besonderer Dank gilt Herrn Privatdozent Doktor Pizanis, Leitender Oberarzt der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikums des Saarlandes für das ermöglichen dieser Arbeit, die Bereitstellung des Themas, sowie die hervorragende und sehr geduldige Betreuung während der gesamten Zeit.