

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

**Frühergebnisse der operativen monosegmentalen Stabilisierung
instabiler Berstungsfrakturen: Vergleich der zweizeitigen
dorso-ventralen Fixateur interne – Technik
mit der isoliert ventralen Stabilisierung**

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

der Medizinischen Fakultät

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2013

vorgelegt von: Susanne Esch
geboren am: 29.10.1986 in Trier

Abkürzungsverzeichnis

a.-p.	= anterior-posterior
AO	= Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese
BWS	= Brustwirbelsäule
BWK	= Brustwirbelkörper
d	= days (Tage)
D	= dorsale Gruppe
DGU	= Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
DICOM	= Digital Imaging and Communications in Medicine
DV	= dorso-ventrale Gruppe
EK	= Erythrozytenkonzentrat
GDW	= Grund-Deckplatten-Winkel (monosegmental)
IMC	= Intermediate Care
isol.	= isoliert
KW	= Körperwinkel
L	= Lendenwirbel
LSS	= Load Sharing Score
LWS	= Lendenwirbelsäule
LWK	= Lendenwirbelkörper
Mini-Open	= Schnitt bis 10cm Länge
MCS	= multizentrische Studie
mono	= monosegmental
n	= number (Anzahl)
PACS	= Picture Archiving and Communication System
prä-OP	= präoperativ
post-OP	= postoperativ
sag.	= sagittal
Th	= Thorakalwirbel
TLÜ	= Thorakolumbaler Übergang
Tsk	= Thorakoskopie
UKS	= Universitätsklinikum des Saarlandes
USS	= Universal Spine System
V	= ventrale Gruppe
WK	= Wirbelkörper

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	1
2 Einleitung.....	3
3 Grundlagen.....	8
4 Patienten und Methoden	11
4.1 Studiendesign	11
4.1.1 Kriterien für „Frühergebnisse“	11
4.1.2 Einschlusskriterien für das monosegmentale Verfahren	12
4.1.3 Ausschlusskriterien.....	12
4.2 Operation	13
4.2.1 Die Operationsmethode des dorsalen Eingriffs (Gruppe DV).....	13
4.2.2 Die Operationsmethode des ventralen Eingriffs (Gruppe DV und V)	20
4.2.3 Postoperative Nachbehandlung	25
4.3 Datenerhebung	25
4.3.1 Aufnahme- und Patientendaten inkl. allgemeine demographische Daten.....	26
4.3.2 Spezielle klinische Daten im Zusammenhang mit den Operationen	26
4.3.3 Radiologische Daten	27
4.4 Statistische Auswertung.....	30
5 Ergebnisse	32
5.1 Die Behandlungsgruppen.....	32
5.1.1 Eigenschaften des Patientenkollektivs	32
5.1.2 Frakturklassifikationen.....	32
5.1.3 Begleitverletzungen und Begleiterkrankungen	34
5.1.4 Versorgungszeiten und stationärer Aufenthalt	35
5.2 Operative Behandlung	37
5.2.1 Höhenlokalisierung von Fraktur und Operation	37
5.2.2 Zugangsverfahren	38
5.2.3 Operationszeiten, Blutverlust.....	39
5.2.4 Neurologische Ausfälle.....	40
5.2.5 Komplikationen	40
5.3 Repositionsergebnis und Instrumentierungsergebnis	41
5.3.1 Grunddeckplattenwinkel	41
5.3.2 Körperwinkel, relative Wirbelkörperhöhe.....	43
5.3.3 Spinalkanalweite.....	44
5.3.4 Spanneigung und -position.....	45
5.3.5 Implantatlage	47

6 Diskussion	49
6.1 Allgemeine Ergebnisse	50
6.1.1 Stationärer Aufenthalt.....	50
6.1.2 Operationsdauer.....	51
6.1.3 Blutverlust.....	52
6.2 Reposition	54
6.2.1 Grunddeckplattenwinkel anterior-posterior.....	54
6.2.2 Grunddeckplattenwinkel sagittal.....	55
6.3 Instrumentierung	60
6.3.1 Technik	60
6.3.2 Implantate.....	62
6.3.3 Transplantat.....	64
6.4 Ausblick.....	66
6.4.1 Implantatentwicklung isoliert ventral mit besserer Position	66
6.4.2 Nachuntersuchung, radiologische Fusionsrate?	67
6.4.3 Schlussfolgerungen	67
7 Anhang.....	68
7.1 Klassifikation der Pedikelschraubenlage nach Zdichavsky.....	68
7.2 Freier Winkelspielraum von Frakturbacken.....	69
7.3 Vergleichswerte der Arbeitsgemeinschaft Wirbelsäule der DGU	69
7.4 Vergleichswerte der Kyphosewinkel bei monosegmentaler Frakturversorgung	70
7.5 Moderne ventrale Implantatgenerationen	70
8 Literaturverzeichnis	71
9 Dank/Publikationen	75

1 Zusammenfassung

EINLEITUNG: Nach Frakturen mit Kompression oder axialer Instabilität der thorakolumbalen Wirbelsäule kann die Wiederherstellung der anterioren Säule notwendig werden. Diese prospektiv angelegte Studie zielt auf die Frühergebnisse nach minimal invasiver und Mini-Open-Technik für möglichst kurzstreckige Stabilisierung und Fusion an der thorakolumbalen Wirbelsäule ab.

MATERIAL/METHODEN: Von 2005 bis 2009 wurden in der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie Homburg/Saar 365 Patienten wegen thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen operiert. Daraus wurden 35 Patienten zur strikt monosegmentalen Fixierung und anterioren Fusion mittels monosegmentalen autologen Knochentransplantats rekrutiert und endoskopisch oder über einen Mini-Open Zugang operiert. Basierend auf der verwendeten Technik wurden zwei Gruppen verglichen: posteriorer monosegmentaler Fixateur interne mit anteriorer Spantransplantation (dorso-ventrale Gruppe mit 20 Patienten) und isoliert monosegmentale anteriore Fixierung (TeleFix[®]) mit Spantransplantation (isoliert ventrale Gruppe mit 15 Patienten). Klinische Daten aus Patientenakten sowie radiologische Parameter wurden verwendet, um die Resultate nach kombiniertem und isoliert ventralem Eingriff zu vergleichen.

RESULTATE: Die behandelten Berstungsfrakturen waren in beiden Gruppen überwiegend vom AO-Typ A3.1 bis A3.2. In der dorso-ventralen Gruppe waren 5 von 20 Frakturen des Typs B und C. Der Load Sharing Classification Score betrug $7 (\pm 1)$. Mit Körperwinkeln von 23° bis $25^\circ (\pm 6^\circ)$ und minimaler Wirbelkörperhöhe von 50% herrschten in beiden Gruppen gleiche Anfangsbedingungen. Postoperativ wurden signifikante Reduktionen der Fehlstellungen in der dorso-ventralen und der isoliert ventralen Gruppe erreicht, ohne signifikant unterschiedliche Korrekturausmaße: der sagittale Grunddeckplattenwinkel betrug $7^\circ (\pm 6^\circ)$ respektive $7^\circ (\pm 5^\circ)$. Spinalkanalverengungen wurden mit beiden Methoden effektiv reduziert. Insgesamt wurden längere Aufenthalts- und Operationszeiten für das dorso-ventrale Verfahren festgestellt.

SCHLUSSFOLGERUNG: Beide Techniken ermöglichen eine effektive Reposition und Fixation durch den verwendeten minimal invasiven Zugang unter Berücksichtigung möglichst kurzstreckiger Fusion zur Rekonstruktion der anterioren Säule. In ausgewählten, von der Verletzung und vom Frakturtyp abhängigen Fällen, kann eine monosegmentale Fixation und Fusion empfehlenswert sein. Das isoliert anteriore Verfahren mittels minimal invasiver Technik kann besonders im Hinblick auf Typ A Frakturen eine gute Möglichkeit darstellen.

Monosegmental anterior column reconstruction and fusion in incomplete burst fractures of the spine: early results of anterior vs. combined operative techniques

INTRODUCTION: Reconstruction of the anterior spinal column can be necessary after trauma induced compression and axial instability. This prospective designed study focuses on early results after minimal and less invasive techniques for shortest possible stabilization and fusion on thoracolumbar spine.

MATERIAL/METHODS: Between 2005 and 2009, 365 patients were operated for thoracolumbar spine injuries in the Department of Traumatology and Reconstructive Surgery Homburg/Saar, 35 of which recruited for strictly monosegmental fixation and anterior fusion by monosegmental strut graft transplant through anterolateral approach endoscopically or mini-open. Based on the technique used, two groups were compared: posterior monosegmental internal fixator and anterior strut-grafting (dorso-ventral group including 20 patients) and isolated monosegmental anterior fixation (TeleFix[®]) with strut graft (ventral group including 15 patients). Clinical data from medical records as well as radiologic parameters were used to compare the results after combined and anterior surgery.

RESULTS: Predominantly burst fractures of AO-Type A3.1 to A3.2 were treated in both groups, for dorso-ventral group 5/20 fractures of type B and C, load sharing classification score was 7 (\pm 1). Similar initial conditions existed in both groups with vertebral body wedge of 23° to 25° (\pm 6°) and height minimum of 50%. Postoperative significant correction of deformity was achieved in the dorso-ventral and ventral group, without significantly different reduction extent: sagittal Cobb angles were 7° (\pm 6°) and 7° (\pm 5°) respectively. Spinal canal encroachment with both methods was effectively reduced. Overall longer hospitalization and operating-times for the dorso-ventral procedure were required.

CONCLUSION: Both techniques allowed an effective reduction and fixation through the minimal invasive approach used, allowing the shortest possible fusion for reconstruction the anterior column. In selected cases depending on the injury and fracture type, monosegmental fixation and fusion can be preferable, and especially with regard to type A fractures the anterior-only procedure by minimal invasive surgery can be a valuable option.

2 Einleitung

Die vorliegende Dissertation stellt einen Vergleich zweier operativer Behandlungsverfahren von traumatisch bedingten, instabilen Berstungsfrakturen der Wirbelsäule dar. Im Zeitraum von 2005 bis 2009 wurden in der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie Homburg/Saar traumatisch bedingte Wirbelsäulenfrakturen von 35 Patienten maximal kurzstreckig monosegmental fixiert und ventral mittels Spaninterposition rekonstruiert. Eine Patientengruppe wurde kombiniert dorso-ventral, die andere Gruppe isoliert ventral operiert. Es lagen mehrheitlich monosegmentale Frakturen vor, die entsprechend rein monosegmental stabilisiert werden konnten.

Bei Patienten mit Berstungsfrakturen der Wirbelsäule handelt es sich in der Mehrzahl der Fälle um monosegmentale Verletzungsgeschehen. Während früher häufig offene, multisegmentale Instrumentierungen durchgeführt wurden, gilt heute als Standardverfahren die bisegmentale dorsale Fixierung mit ergänzender ventraler monosegmentaler Fusion. Grundsatz der operativen Therapie bei Wirbelsäulenverletzungen ist eine möglichst kurzstreckige Fixierung und Fusion („fix short, fuse short“), um maximal viele Bewegungssegmente in ihrer Funktion zu erhalten. Weitere grundlegende Ziele bei der operativen Wirbelfrakturbehandlung sind, neben der Achswiederherstellung, die Sicherung neuronaler Strukturen und Frühmobilisation des Patienten.

Die rein monosegmentale dorso-ventraler Stabilisierung als operative Versorgung frischer Typ B und Typ C Frakturen wurde einmalig beschrieben, wobei gute postoperative Ergebnisse erzielt wurden [8]. Zwar konnte ein Korrekturverlust im Langzeitverlauf nicht verhindert werden, doch kann dies auf die Verletzungsmorphologie (Frakturtyp) zurückzuführen sein. Umso wichtiger erscheint die Überprüfung dieser Technik und ihrer Besonderheiten bei der Anwendung für operationsbedürftige Kompressionsfrakturen (Typ A3).

Publikationen und Untersuchungen zu rein monosegmentalen Stabilisierungen posttraumatischer Kyphosen sind rar. Eine Publikation aus dem Jahr 2004 [3] untersuchte ein kleines Kollektiv, das über einen langen Zeitraum aus den 1980er Jahren rekrutiert wurde und mit mittlerweile überholten, nicht winkelstabilen Implantaten versorgt wurde. Die guten radiologischen Ergebnisse könnten auf die im Kollektiv mit erfassten harmlosen Frakturtypen A1 zurückführbar sein, die heutzutage meist konservativ therapiert werden [52]. Eine aktuellere Untersuchung der rein monosegmentalen Versorgung von relevanten, schweren Frakturen (Typ A3 und McCormack 7) mit prospektivem Charakter und fortlaufender Erfassung der sukzessiven Fälle wäre von großem Nutzen.

Dabei hat die rein monosegmentale Stabilisierung gewichtige Vorteile. Angrenzende, nicht an der Fraktur beteiligte Bewegungssegmente werden bei rein monosegmentaler Fixierung geschont. Bisher ist die monosegmentale dorso-ventrale Fixierung nur für spezielle Frakturtypen und Frakturmorphologien geeignet und mit operativen Besonderheiten hinsichtlich der dorsalen Schraubenplatzierung und der Verwendung spezieller Implantate verbunden [19]. Aufgrund der seltenen Anwendung liegen gegenwärtig nur wenige Daten vor.

Ebenso sind isoliert ventrale Verfahren in Studien mit größeren Fallzahlen bislang unterrepräsentiert [22]. Wissenschaftliche Erkenntnisse über experimentelle und klinische Anwendungen, des im Rahmen dieser Studie verwendeten ventralen Implantats, liegen nicht bzw. kaum vor. Im Zuge der technischen Weiterentwicklung der letzten Jahre gelten kurzstreckige Verfahren in einzeitigem Vorgehen als praktikable Option und bieten Vorteile bezüglich der Instrumentierung und Operationstechnik [58]. Insbesondere neue Möglichkeiten bei der Instrumentierung und der Einsatz minimal invasiver Zugänge sind vielversprechende Alternativen zu den bisher angewandten Verfahren. Aufgrund der beschriebenen Fortschritte scheint eine Evaluierung der maximal kurzstreckigen Versorgung bei monosegmentaler Verletzung sinnvoll.

Die monosegmentale Fixierung und Fusion kann mit den zurzeit verwendeten modernen Operationstechniken (bei dorso-ventralem und bei isoliert ventralem Vorgehen) eine wenig invasive, Bewegungssegment schonende Frakturversorgung bieten. Bei sorgfältiger präoperativer Diagnostik und korrekter Indikationsstellung stellt sie ein anerkanntes Verfahren und ein erfolgversprechendes Operationskonzept dar.

Monosegmentale Behandlungsverfahren: Indikationen und Vergleich

Liegt eine monosegmentale Fraktur vor und ist die Indikation zur ventralen Stabilisierung aufgrund der Wirbelkörperzerstörung gegeben, müssen für die monosegmentale Fixierung mit dem Ziel der Erhaltung freier Bewegungssegmente bestimmte Voraussetzungen gegeben sein. Die relative Wirbelkörperhöhe sollte in der Mitte des Wirbelkörpers mindestens 50% betragen und der Restwirbelkörper sollte aus gesunder, intakter Knochenstruktur bestehen [19], um die erforderliche Instrumentierung in den frakturierten Wirbelkörper zu ermöglichen. Unter diesen Voraussetzungen können zwei verschiedene Operationsverfahren angewandt werden, deren Vergleich Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist.

Gemeinsamkeiten beider Verfahren liegen in der Abstützung der ventralen Säule mittels autologen Spans und in der monosegmentalen Fixierung. Die Verfahren unterscheiden sich

hinsichtlich des Zugangsweges zur Umsetzung der monosegmentalen Fixierung (dorsal und ventral) und dem entsprechenden Implantat (hier verwendet USS – Fixateur interne und TeleFix, Synthes®). Die operative Therapie erfolgte entweder in Form einer einzeitigen anterioren Versorgung mittels Span und Platte (TeleFix®) oder wurde in Form von zwei konsekutiven Operationen (auch einzeitig möglich) innerhalb eines Aufenthaltes als Stabilisierung von dorsal mittels Fixateur interne und anteriorer Fusion mittels Span ohne Platte durchgeführt. Das erhöhte Risiko eines isoliert ventralen Vorgehens mit zusätzlicher Einbringung eines Plattensystems in der Akutphase, ist gegen das Risiko eines zweiten Zugangsweges bei dorso-ventralem Vorgehen individuell abzuwägen [26]. Eine Gegenüberstellung des rein monosegmentalen dorso-ventralen und isoliert ventralen Vorgehens ist in Tabelle 1 dargelegt.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile des dorso-ventralen und isoliert ventralen Verfahrens der reinen monosegmentalen Stabilisierung und Spanfusion.

DV = dorso-ventraler Fixateur interne + Span / zweizeitig.

V = ventraler TeleFix® + Span / einzeitig.

<i>OP</i>	<i>Vorteile</i>	<i>Nachteile</i>
DV	<ul style="list-style-type: none"> ▪ einfache Reposition ▪ Akutbehandlung Mehrfachverletzter ▪ indirekte Hinterkantenreposition plus ggf. sekundär noch mögliche ventrale Hinterkantenresektion 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ höhere Invasivität ▪ hoher zeitlicher Aufwand ▪ komplexe Schraubenplatzierung
V	<ul style="list-style-type: none"> ▪ geringere Invasivität ▪ einzeitiges Vorgehen ▪ gute Orientierung bei Spaninterposition ▪ direkte Spanfixierung durch Implantat (räumliche Nähe) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ erschwerte Reposition ▪ keine notfallmäßige Stabilisierungsmaßnahme ▪ ventrale Hinterkantenresektion bei unfixierter Fraktur

Operationstechnische Besonderheiten (DV und V)

Im Vergleich zu längerstreckigen Stabilisierungsverfahren führen monosegmentale Fixierungen durch kleinere Implantatdimensionen und engere Instrumentierungsbedingungen zu besonderen Repositionssituationen hinsichtlich der Wirbelsäulenachse und des Spinalkanals.

Die Achswiederherstellung von ventral in Seitlagerung des Patienten mit aufgeklapptem Tisch und ohne Repositionsinstrument ist schwieriger als die Reposition von dorsal in

Bauchlagerung mit der Möglichkeit der ergänzenden Feineinstellung mittels monosegmentaler Schanzschrauben. Zusätzlich wird die isoliert ventrale Reposition durch den kleinen Zugang erschwert. Intra- und postoperativ ist eine radiologische Überprüfung des Repositionsergebnisses in sagittaler und anterior-posteriorer Projektion obligat.

Das dorsale Repositionsmanöver durch Distraction ermöglicht eine indirekte Hinterkantenreposition, was eine Entlastung des Spinalkanals zur Folge hat. Hierdurch kann eine offene Spinalkanalrevision häufig vermieden werden. Bei isoliert ventralem Vorgehen besteht hingegen nur die Option der offenen Hinterkantenresektion zur Spinalkanalentlastung. Sie erfolgt vor Anbringung der Fixierungsplatte bei unfixierter Fraktur.

Die dorsale Fixierung gelingt mittels Schanzschrauben monosegmental transpedikulär in den frakturierten und in den cranial benachbarten Wirbelkörper. Operationstechnische Besonderheiten betreffen insbesondere die Zielrichtung und Konvergenz der caudalen Schanzschrauben. Risiken bestehen in iatrogenen Wirbelkörper- oder Pedikelbeschädigungen. Neben der Schraubenplatzierung besteht die Schwierigkeit bei der monosegmentalen Fixateur interne – Technik in der anspruchsvollen Reposition.

Für die ventrale Fixierung wird eine moderne winkelstabile Platte (TeleFix®) verwendet. Das Anbringen der Platte erfolgt über einen minimal invasiven oder endoskopischen Zugang. Operationstechnisch steht neben guten Achsverhältnissen das Fixieren der Platte in korrekter Lage mittels stabiler Schraubenfixierung im Vordergrund. Eine optimale Positionierung des TeleFix® mit geringem Abstand zur Wirbelsäule und sicherem Abstand zur Aorta ist für die postoperative Stabilität und Sicherheit von entscheidender Bedeutung, zumal ein anterolateral weit ausladendes Implantat vermieden werden soll. Bislang liegen keine deskriptiven Daten über die postoperative Position des TeleFix® vor.

Zur anterioren Abstützung wird in beiden Gruppen ein autologes Transplantat monosegmental verwendet. In der dorso-ventralen Gruppe ist der Raum im Wirbelkörperrest für die Verklemmung des Transplantats relativ gering, da bereits platzierte Pedikelschrauben den frakturierten Wirbelkörper besetzen. Zusätzlich kann der eventuell auf den Schrauben auflaufende Span verkippen. Dies erschwert die regelrechte Späneinfalzung. Hingegen können beim isoliert ventralen Vorgehen die primär platzierten dorsalen Schrauben die Orientierung erleichtern (endoskopisch zweidimensionales Bild, indirekte Sicht), um eine Optimalposition des Knochentransplantats zu ermöglichen.

Fragestellung

Wenn die Wiederherstellung der anterioren Säule nach Frakturen mit Kompression oder axialer Instabilität der Wirbelsäule notwendig wird, stehen im Falle einer A3.1 oder A3.2 Fraktur, unter Berücksichtigung patienten- und frakturspezifischer Merkmale, zwei Operationsmethoden zur Verfügung. Die zweizeitige dorso-ventrale Fixateur interne – Technik steht der isoliert ventralen Stabilisierung mit TeleFix® gegenüber. Im Rahmen dieser Arbeit sollen Vor- und Nachteile beider Methoden untersucht werden.

Um Patienten mit thorakolumbalen Berstungsfrakturen ein modernes und standardisiertes Operationsverfahren mit guten klinischen Ergebnissen anbieten zu können, müssen moderne anteriore Systeme und ihre technische Anwendung erprobt und die postoperativen Ergebnisse überprüft werden. Der stetigen Entwicklung von innovativen Operationsmethoden sowie deren Evaluation im klinischen Betrieb ist zu verdanken, dass Wirbelsäulenfrakturen heute hoch differenziert diagnostiziert und therapiert werden können. Die vorliegende Arbeit prüft die Operationsschritte und das Ergebnis zweier moderner Operationsverfahren mit dem Ziel, bei exakter Indikationsstellung eine qualitativ hochwertige technische Durchführung der operativen Therapie zu gewährleisten.

Die prospektiv angelegte Studie liefert Frühergebnisse der strikt monosegmentalen Stabilisierung und Fusion thorakolumbalen Wirbelsäulenfrakturen mittels minimal invasiver Technik.

Unter diesen Gesichtspunkten wurden in einem Zeitraum von vier Jahren 35 Patienten zweizeitig dorso-ventral oder isoliert ventral versorgt und speziell folgende Vermutungen überprüft:

1. Die dorsale Reposition durch Fixateur interne gelingt besser als die Reposition bei isoliert ventralem Vorgehen (seitliches und a.-p. Profil, Hinterkante).
2. Das dorso-ventrale Vorgehen ist mit einem höheren Risiko für Komplikationen (insbesondere transpedikuläre Schraubenplatzierung) und mit einem höheren zeitlichen Aufwand verbunden.
3. Die günstigste Spanposition ist beim isoliert ventralen Vorgehen zu erreichen. Ergänzend werden die Daten zum Behandlungsverlauf verglichen (Sekundärparameter).

3 Grundlagen

Operationsindikation

In den Therapieempfehlungen der Arbeitsgemeinschaft Wirbelsäule der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) 2011 zur Versorgung von Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule gelten Abweichungen vom individuellen sagittalen Profil $> 15^{\circ}$ – 20° als operationsbedürftig [52].

Abbildung 1 zeigt die Aufnahmen einer frischen thorakolumbalen Berstungsfraktur mit ausgeprägter Kyphose.

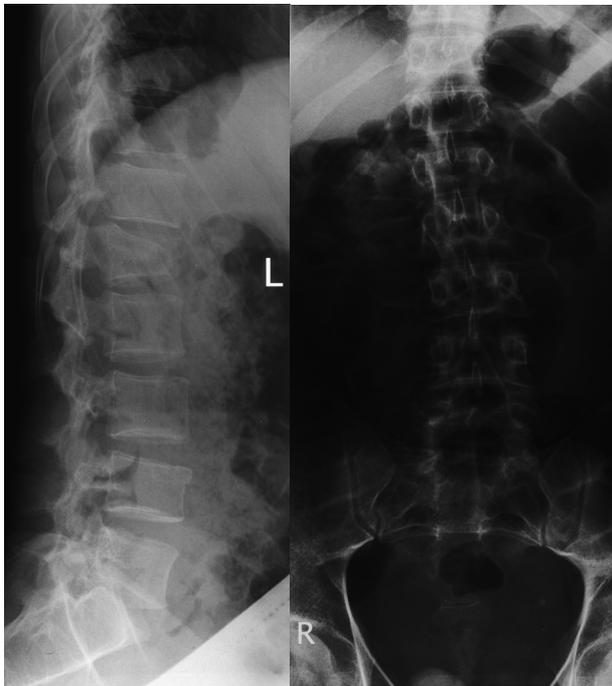


Abb. 1: Berstungsfraktur in Höhe LWK 1 mit KW $> 20^{\circ}$ und Wirbelkörperzerstörung um $1/3$, Frakturtyp A3.1, Gruppe V.

Allgemein gelten radiologische Richtwerte bei Wirbelfrakturen mit Körperwinkel über 20° (Abb. 1) oder Wirbelkörperkompressionen um mehr als 50% (Wirbelkörperhöhe unter 50%) als Indikation zur operativen Behandlung [46]. Unter konservativer Therapie zeigen sich Mindestzunahmen des Grunddeckplattenwinkels um ca. 10° , was bei einer initialen Fehlstellung von 20° zu ungünstigen funktionellen Resultaten und einer Gelenkinkongruenz der kleinen Wirbelzwischenengelenke führt [46]. Gelenkinkongruenzen, die ab 30° Kyphosefehlstellung entstehen, sind in vielen Fällen mit Facettengelenksfibrose und

Facettengelenksarthrose sowie Rückenschmerzen bei Fehlbelastung der Rückenmuskulatur verbunden [37].

Indikation zur ventralen Stabilisierung

Nach der Entscheidung, ob bei einer vorliegenden Wirbelfraktur die operative Therapie indiziert ist, stellt sich die Frage, in welchen Fällen eine ventrale Stabilisierung anzustreben ist.

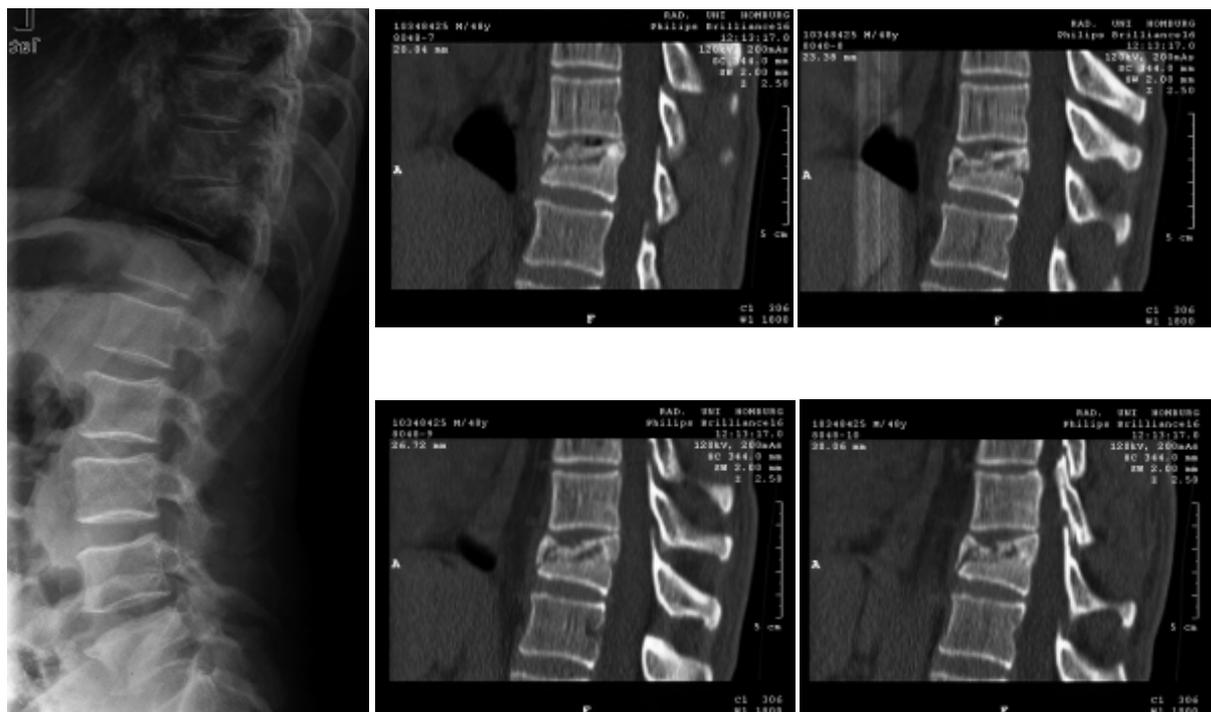


Abb. 2: Berstungsfraktur des BWK 11 mit KW > 20° und Wirbelkörperzerstörung > 1/3, Frakturtyp A3.1, Gruppe V

Die Rekonstruktion der ventralen Säule ist bei einer Wirbelkörperzerstörung von 1/3 bis 2/3 bei Typ A3.1 Frakturen empfohlen (Abb. 2). Eine geringere Wirbelkörperzerstörung (bis zu 1/3) stellt eine relative Operationsindikation zur ventralen Rekonstruktion dar [52]. Diese aktuelle Empfehlung steht in Analogie zur Load Sharing Classification von McCormack, die in Form eines Punktesystems das Ausmaß der Wirbelkörperzerstörung in < 30%, 30% bis 60% und > 60% gliedert. Eine Wirbelkörperzerstörung über 60% entspricht 3 Punkten. Die Dehiszenz der Bruchstücke und das Ausmaß der Korrektur fließen als weitere Faktoren mit maximal 6 Punkten in den Load Sharing Score (LSS) ein. Ab einem Score von 7 ist die Rekonstruktion der anterioren Säule indiziert, da eine isoliert posteriore Instrumentierung für die postoperativen Belastungen des frakturierten Wirbelkörpers nicht ausreichend ist [36]. Seit der Etablierung der Load Sharing Classification, die anhand einer geringen Fallzahl festgelegt wurde, fand der Score bei der Indikationsstellung vielfach Anwendung [32, 38, 53].

Die Reliabilität des Scores wird kontrovers diskutiert und ist bislang nicht abschließend zu beurteilen [4, 18, 47]. Von einer Korrelation des LSS mit dem lokalen Kyphosewinkel und der postoperativen Schmerzintensität ist auszugehen [5]. Des Weiteren geht ein hoher LSS gehäuft mit Bandverletzungen, insbesondere des Ligamentum longitudinale posterius einher [6]. Zur genauen Beurteilung der Bandstrukturen ist jedoch die MRT wegweisend. Obwohl die Klassifikation initial nur für dorsal instrumentierte Frakturen definiert wurde, gibt es auch konservativ und isoliert ventral versorgte Frakturen, bei denen der Score angewendet wurde [1, 5, 20].

4 Patienten und Methoden

4.1 Studiendesign

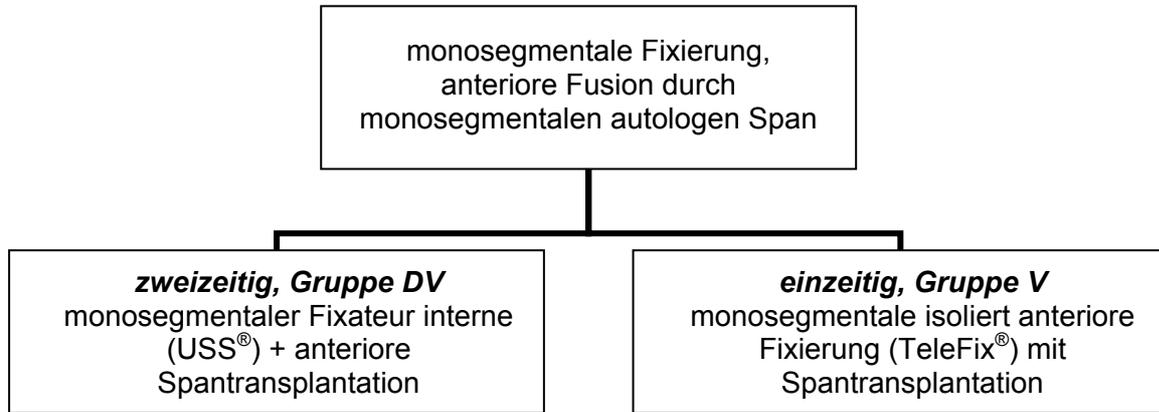


Abb. 3: Schema zum Studiendesign der beiden Gruppen DV und V.

Im Zeitraum von vier Jahren (2005 bis 2009) wurden in der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikum des Saarlandes 365 Patienten mit traumatisch bedingten Wirbelsäulenfrakturen operativ behandelt. In diesem Zeitraum wurden 35 Patienten prospektiv rekrutiert, die mit einer strikt monosegmentalen Fixierung und anterioren Fusion (Abb. 3) durch monosegmentale autologe trikortikale Spantransplantation vom Beckenkamm über einen anterolateralen endoskopischen (ggf. Mini-Open) Zugang versorgt wurden. Basierend auf der verwendeten Technik wurden zwei Gruppen verglichen: posteriorer monosegmentaler Fixateur interne mit anteriorer Spantransplantation (DV, n = 20) und isoliert monosegmentale anteriore Fixierung (TeleFix®) mit Spantransplantation (V, n = 15). Klinische Daten aus Patientenakten sowie radiologische Parameter wurden verwendet, um die Resultate nach kombiniertem und isoliert ventralem Eingriff zu vergleichen.

Von der Ethikkommission der Ärztekammer des Saarlandes bestanden gegen die Durchführung dieser Studie weder berufsrechtliche noch ethische Bedenken (Kenn-Nr. 199/12).

4.1.1 Kriterien für „Frühergebnisse“

Der Schwerpunkt der Studie lag auf der Analyse der operativen Durchführung der beiden Methoden sowie den postoperativen Resultaten. Die Frühergebnisse basieren entsprechend

auf operativen und perioperativen Daten. Langzeitergebnisse im Rahmen von Nachuntersuchungen wurden nicht ermittelt.

4.1.2 Einschlusskriterien für das monosegmentale Verfahren

- Trauma induzierte, frische thorakolumbale Wirbelsäulenverletzung
- Volljährigkeit
- Körperwinkel $\geq 20^\circ$ oder ventrale Kompression $\sim 50\%$
- Mittige relative Wirbelkörperhöhe („M“) $\geq 50\%$
- Einschlusskriterien für das isoliert ventrale Verfahren:
 - A3.1 oder A3.2 Fraktur (Berstungsfrakturen) mit Ausschluss von B- oder C-Typen (nach AO)
 - junger Patient (biologisch < 60 Jahre)
 - keine Osteoporose/-penie (radiologisch, anamnestisch)
 - keine relevanten Begleiterkrankungen oder Begleitverletzungen
 - keine hochgradige Spinalkanalenge
 - keine Notfallversorgung
- Einschlusskriterien für das dorso-ventrale Verfahren:
 - Einschlusskriterien wie bei isoliert ventraler Behandlung
 - jedoch inklusive Typ B und C (nach AO)
 - sowie dringliche Operation bei Polytrauma, Mehrfachverletzten oder notwendige Frühmobilisation, neurologische Ausfälle

4.1.3 Ausschlusskriterien

- Notwendige bzw. erfolgte bisegmentale Fixation mit Fixateur interne oder Fixateuren anderen Typs
- Mittige relative Wirbelkörperhöhe („M“) $\leq 50\%$
- Einsatz von Wirbelkörperersatzimplantaten
- Pathologische Fraktur
- Patient mit Osteoporose
- Minderjährigkeit
- Komplette Berstungsfrakturen A3.3 oder B/C-Typen mit kompletter Berstungskomponente

4.2 Operation

Anhand der oben genannten Kriterien wurde das therapeutische Vorgehen festgelegt. Folgende Versorgungsverfahren wurden in dieser Studie unterschieden: kombiniert dorso-ventral zweizeitig (DV) und isoliert ventral einzeitig (V).

Der dorsale Eingriff erfolgte in Bauchlage durch einen Hautschnitt über den Dornfortsätzen. Der ventrale Eingriff erfolgte in Rechtsseitenlage, oberhalb von Th10 in Linksseitenlage. Da ventral meist minimal invasiv operiert wurde, spielte der konventionell offene Zugang eine untergeordnete Rolle. Der Zugang wurde in Abhängigkeit von der jeweiligen Lokalisation thorakoskopisch/Mini-Open (Th8 bis L1/L2-Oberrand) oder über eine Mini-Lumbotomie (L2 bis L4) durchgeführt.

4.2.1 Die Operationsmethode des dorsalen Eingriffs (Gruppe DV)

Der monosegmentale Fixateur interne

Die Operationsmethode des dorsalen Eingriffs beinhaltet die dorsale Stabilisierung, welche mittels eines monosegmentalen Fixateur interne erreicht wird. Das Implantat basiert auf dem Schanzschrauben-Winkelbackensystem und besteht entsprechend aus zwei stabähnlichen Längsträgern, die mit transpedikulär eingeführten Schanzschrauben, winkelstabil über Frakturbacken, verbunden werden. Es hat Vorzüge bei subtilen Repositionsmanövern, insbesondere der Lordosierung über die Hebelarme der Schanzschrauben, der Ligamentotaxis und der indirekten Hinterkantenreposition. Das Implantat beruht auf dem Fixateur interne – System nach Dick [11, 10] und wird meist bisegmental angebracht. Das monosegmentale Vorgehen beinhaltet die transpedikuläre Fixierung des verletzten Wirbelkörpers mit einem benachbarten Wirbelkörper unter Einbeziehung nur eines – verletzten – Bewegungssegments. Bei den meist cranialen Berstungsfrakturen werden frakturierter Wirbelkörper und cranial benachbarter Wirbelkörper fixiert. Bei den seltenen caudalen Berstungsbrüchen erfolgt die monosegmentale Fixierung in umgekehrter Richtung.

Indikationen zur posterioren Instrumentation mittels USS – Fixateur interne an der Wirbelsäule sind instabile thorakale, lumbale und lumbosakrale Frakturen mit neurologischen Ausfällen und Frakturen, die mit einer nicht akzeptablen Deformität einhergehen. Tumoren, Entzündungen, posttraumatische Deformitäten sowie eine Spondylolisthesis fallen gemäß Herstellerangaben ebenso in das Indikationsspektrum, sind jedoch nicht Gegenstand der Arbeit. Diskoligamentäre Risse oder vorangegangene Laminektomien stellen keine Kontraindikationen dar. Als Grenzindikationen werden Instrumentierungshöhen oberhalb von

Th6 angegeben, da der Schanzschraubendurchmesser von mindestens 5mm ab dieser Höhe nicht mehr sicher mit der geringen Pedikelgröße vereinbar ist. Eine zusätzliche anteriore Defektüberbrückung wird bei ausgeprägten Wirbelkörperdefekten (Kompressionsfrakturen) empfohlen.

Lagerung und Reposition



Abb. 4: Operationsvorbereitung bei dorsalem Eingriff.

Zur Operation lag der Patient, analog Abbildung 4, auf einem geraden Durchleuchtungstisch in Bauchlage. Unterpolsterungen im Brust- und Beckenbereich unterstützten den ventralen Durchhang und bewirkten einen Teil der Reposition. Darüber hinaus vermieden sie eine lagerungsbedingte Beatmungsbehinderung [26].

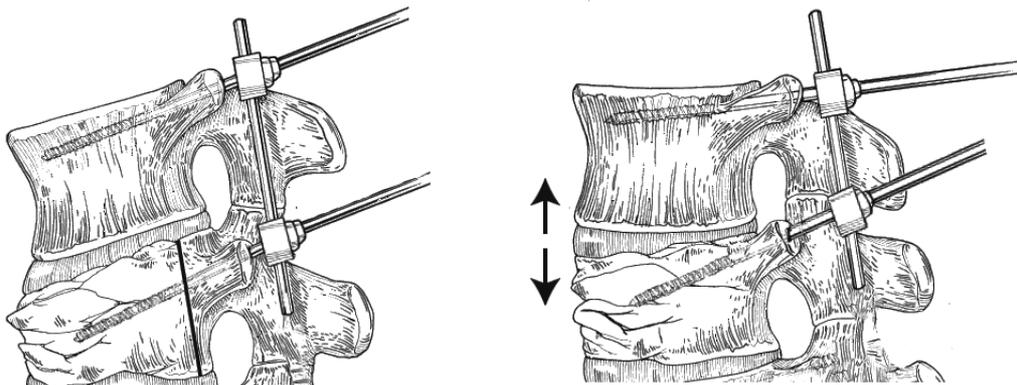


Abb. 5: Indirekte monosegmentale Reposition durch Lordosierung und Distraction. Bandstrukturen zur Ligamentotaxis und straffer Anulus fibrosus unterstützen die indirekte Hinterkantenreposition [55].

Die Komplettierung bzw. Feineinstellung der Fraktur-reposition erfolgte über das Implantat (Abb. 5) durch weitere Lordosierung sowie ggf. nachfolgende Distraction zur indirekten Hinterkantenreposition, welche unter anderem durch Ligamentotaxis bei intaktem hinterem Längsband bewirkt wurde. Die folgenden Abbildungen 6 und 7 zeigen schematische und

computertomographische Axialaufnahmen des Spinalkanals vor und nach indirekter Hinterkantenreposition.

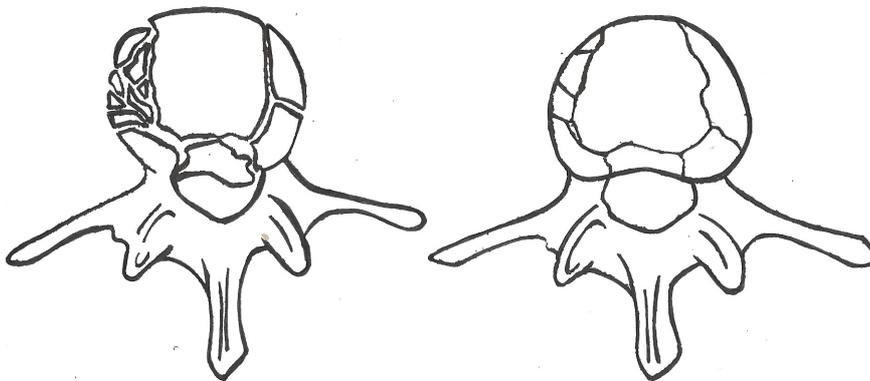


Abb. 6: Schematische axiale Darstellung eines lumbalen Wirbelkörpers vor und nach Reposition.

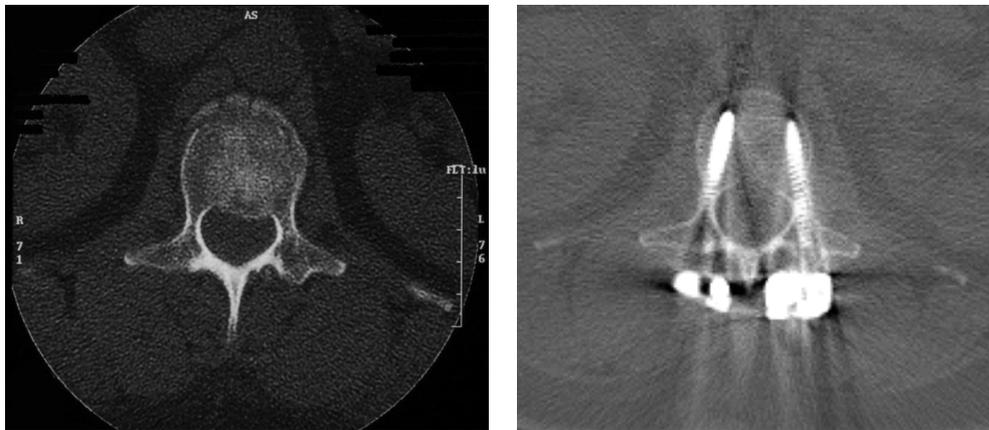


Abb. 7 a)–b): Axiale CT-Aufnahmen in Höhe LWK 1 vor und nach indirekter monosegmentaler Reposition.

Präparation des monosegmentalen Zugangs

Die monosegmentale Stabilisierung mit der Beteiligung nur eines Bewegungssegments unterschied sich in den Punkten Präparation und Schraubenplatzierung von der konventionellen bisegmentalen Stabilisierung.

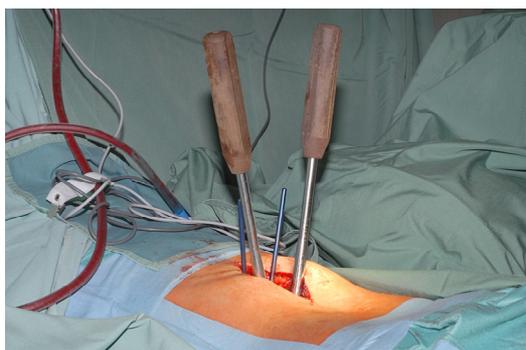


Abb. 8: Operationsfeld bei monosegmentaler Stabilisierung mittels Fixateur interne.

Der operative Zugangsweg zur monosegmentalen Stabilisierung war mit geringerem präparativem Aufwand verbunden und weniger traumatisierend als der Zugangsweg zur bisegmentalen Fixierung. Der Hautschnitt konnte kleiner gewählt werden, und die Freilegung der Pedikel und Laminae war kurzstreckiger (Abb. 8). Das subperiostale Präparieren der autochtonen Rückenmuskulatur von den Dornfortsätzen nach lateral konnte in Längsrichtung auf das Aufsuchen der Zwischenwirbelgelenke zweier direkt benachbarter Wirbel begrenzt werden, deren Pedikel Ziel für die Schraubenplatzierung waren.

Schraubenplatzierung und Reposition bei monosegmentaler Fixierung

Das Einbringen von gekürzten Kirschnerdrähten an die vorgesehenen Pedikeintrittsstellen erleichterte die Durchleuchtungskontrolle in zwei Ebenen. Auf die Pedikellokalisation folgte die Kortikaliseröffnung mittels Pedikelfriem. Die transpedikuläre Vertiefung entlang des geringsten Widerstandes im Verlauf des Pedikels erfolgte mit der Ahle. Anschließend folgte das Ertasten des Kanals zur Überprüfung des korrekten intraossären Verlaufs.



Abb. 9 a)–b): Intraoperative Durchleuchtungsdokumentation der Schraubenlage eines monosegmentalen Fixateur interne in sagittaler und a.-p. Strahlenrichtung.

Das Einsetzen der vier Schanzschrauben, die den vorderen Wirbelkörperkortex nicht penetrieren dürfen, wurde unter Durchleuchtung durchgeführt (Abb. 9) und die Lage dokumentiert (a.-p., seitlich, orthograd). Von wesentlicher Bedeutung war neben der korrekten intraossären transpedikulären Schraubenplatzierung in adäquater Konvergenz auch die Vermeidung eines Knochendurchbruchs nach intraspinal oder lateral paravertebral (Abb. 10).

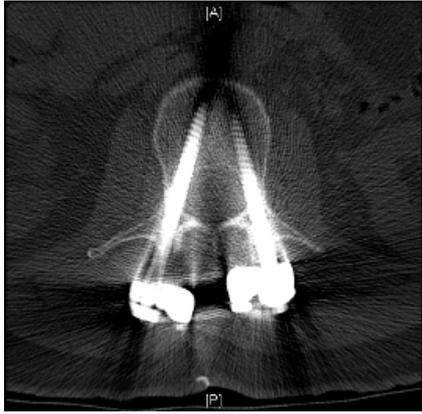


Abb. 10: Axiale CT-Aufnahme. Intraossäre Pedikelschraubenlage mit adäquater Konvergenz.

Die Schanzschrauben in den oberen Wirbelkörper wurden parallel zur Deckplatte eingebracht (Abb. 5 und 11) und bei monosegmentalem Vorgehen im Bereich des unteren, frakturierten Wirbelkörpers schräg von cranial dorsal nach caudal ventral in Richtung der unteren Vorderkante des frakturierten Wirbelkörpers gezielt. Eintrittsstelle und Neigungswinkel der Pedikelnagelung sowie der Verlauf des Kanals im caudalen Wirbelkörper mussten an diese Maßgaben angepasst werden.



Abb. 11: Postoperative sagittale Röntgenaufnahme. Schraubenlage von zwei monosegmentalen Fixateur interne in Höhe Th12/L1 und L3/4 bei Serienfraktur von LWK 1, 3 und 4.

Abbildung 11 zeigt den Schrägverlauf der caudalen Schrauben in Richtung der unteren Vorderkante. Die Eintrittsstellen der caudalen Schrauben wurden in der Regel sehr weit

cranial gewählt, da ein entsprechender Schrägverlauf der Schrauben gewünscht ist, um die Berstungszone zu meiden.

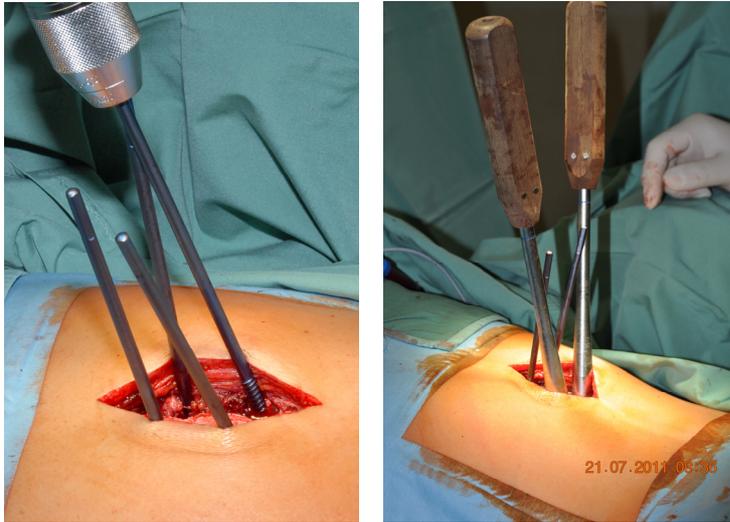


Abb. 12 a)–b): Operationsfeld mit monosegmentalen Schanzschrauben und Schraubenschlüsseln verschiedener Konvergenz, a) vor und b) nach Reposition (rechts im Bild ist caudalwärts).

Die Schrauben waren zudem mit verstärkter Konvergenz einzubringen, um bei dem Repositionsmanöver an den cranialen Schanzschrauben vorbeikreuzen zu können (Abb. 12 b) und nicht zu kollidieren. Für das Vorbeikreuzen der beiden caudalen an den cranialen Schanzschrauben war lediglich ein unterschiedliches Ausmaß an Konvergenz nötig.



Abb. 13: CT-Aufnahme in a.-p. Projektion nach Implantation eines monosegmentalen Fixateur interne. Unterschiedliche Konvergenz der cranialen und caudalen Schrauben.

Durch die Besonderheiten der Zielrichtung der caudalen Schrauben und der unterschiedlichen Konvergenz (Abb. 13) sind die transpedikulären Schraubenplatzierungen beim monosegmentalen Fixateur interne – Verfahren anspruchsvoller.

Ebenfalls erschwert ist bei monosegmentalem Vorgehen die Repositionsmöglichkeit. Der Korrekturumfang bei Reposition über ein einziges Bewegungssegment zeigt geringere Werte, als die instrumentelle Reposition unter Einbeziehung zweier Bewegungssegmente. Die Lordosierung erfolgt anhand der Hebel der Schraubenschlüssel an den Schanzschrauben über die kippbaren Backen (Winkelfreiheit $\pm 18^\circ$) (Anhang 7.2, Abb. 42). Durch die caudale Schrägstellung der Schrauben wird bereits einiges dieser Kippbewegung eingebüßt. Unter der Lordosierung werden die Schrauben und Frakturbacken fixiert. Bei Frakturbeteiligung der Hinterkante ist das Lordosierungsmanöver wie folgt anzupassen. Um den verletzten Wirbelkörper nicht zu zerdrücken oder ein Hinterkantenfragment nach dorsal zu schieben, müssen die Schanzschrauben an den Längsträgern (Stäben) festgestellt sein (über die Frakturbacken, die im Falle einer instabilen Hinterkante als Hypomochlion dienen). Nur so kann das Stauchen der Schanzschrauben entlang der Stäbe und die Hypomochlionwirkung erreicht werden.

Wenn erforderlich, erfolgte nach der Lordosierung eine Distraction mittels Distraktionszange unter Durchleuchtung (Abb. 14).

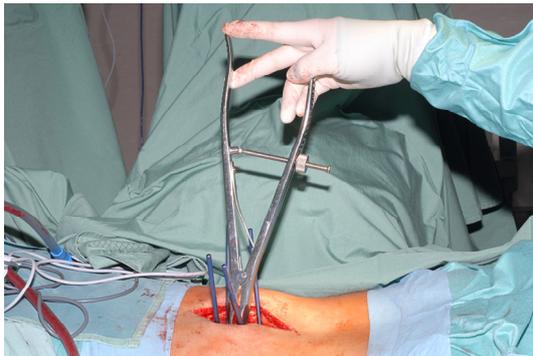


Abb. 14: Distraction mit Hilfe einer Distraktionszange unter Durchleuchtung.

Eine Überdistraction war zu vermeiden. Eine Orientierung konnte anhand der Abstände der benachbarten Segmente erfolgen.

Durch ein gedecktes Repositionsmanöver, sei es durch Lagerung oder über ein Implantat, konnte eine indirekte Hinterkantenreposition erreicht werden. Auf diese Weise konnte im Falle einer frakturbedingten oder verbliebenen Spinalkanalstenose eine offene Spinalkanalrevision häufig vermieden werden. Das Phänomen der indirekten Hinterkantenreposition basiert auf der Ligamentotaxis durch ein intaktes Ligamentum longitudinale posterius und teilweise auf einem Vakuumeffekt durch den aufgerichteten Wirbelkörper.

Die kleineren Implantatdimensionen und engere Instrumentierungsbedingungen bei monosegmentalen Stabilisierungsverfahren führten zu besonderen Repositionssituationen hinsichtlich der Achse und des Spinalkanals.

4.2.2 Die Operationsmethode des ventralen Eingriffs (Gruppe DV und V)

Zur Rekonstruktion der vorderen Säule kamen entweder ventrale Spondylodese mit ventraler Stabilisierung (TeleFix[®]) oder ventrale Spondylodese mit dorsaler Stabilisierung (siehe dorsaler Eingriff, monosegmentaler Fixateur interne und ventraler Span) in Frage.

4.2.2.1 Ventrale Spondylodese mit ventraler Stabilisierung (TeleFix[®])

Die ventrale Spondylodese des verletzten Segments erfolgte bei den Patienten der vorliegenden Untersuchung monosegmental mittels autologer Beckenkammspan-Interposition (Cages wie beispielsweise Synmesh oder Synex fanden Ausschluss gemäß keine Anwendung). Die ventrale Stabilisierung erfolgte mittels einer linkslateral eingebrachten winkelstabilen Platte (TeleFix[®]).

Das anterolaterale Implantat TeleFix[®]



Abb. 15: TeleFix[®] Doppelstabimplantat monosegmental [49].

Das Doppelstabimplantat TeleFix[®] (Synthes), bestehend aus einer Titanlegierung, steht in monosegmentaler Ausführung für die monosegmentale anteriore Stabilisierung zur Verfügung (Abb. 15).

In Kombination mit einem Knochentransplantat oder einem Wirbelkörperersatzimplantat kann es nach teilweiser oder vollständiger Korporektomie und Bandscheibenresektion in Höhe von Th8 bis L5 angewandt werden. Das Indikationsspektrum umfasst Frakturen bzw. posttraumatische Kyphosen, die ausreichend reponiert und von anterior fixiert werden können. Auch posteriore Fixationen, die einer zusätzlichen anterioren Stabilisierung bedürfen, fallen in das Indikationsspektrum. Osteoporosen und Skoliosen werden als Kontraindikationen gewertet, sodass Patienten mit diesen Erkrankungen für die

monosegmentale isoliert ventrale Methode nicht in Frage kommen (Ausschlusskriterien). Neben der Verwendung bei offenen und Mini-Open Zugängen ist das TeleFix[®]-Instrumentarium auch für endoskopisch assistierte Verfahren ausgelegt, welche aktuell vermehrt Anwendung finden.

Lagerung, Reposition, Zugang

Im Fall der alleinigen Stabilisierung von ventral wurden die Patienten in Seitenlage mit Vier-Punkt-Abstützung und Aufklappen des Tisches auf Zugangshöhe gelagert. Für die Reposition wurde zur Spantransplantation eine Lordosierung angestrebt. Intraoperativ gelang die Reposition durch manuellen zentralen Druck (Faustdruck) von dorsal oder mit Hilfe einer steril abgedeckten OP-Stütze von außen auf den Scheitelpunkt der Fehlstellung, wodurch gegen Widerlager der vorderen Abstützung am Operationstisch eine Drei-Punkt-Biegung erreicht wurde.

Der Zugang zur Wirbelsäule sowie die Implantatfixierung erfolgten von anterolateral (Abb. 16). Abhängig von der Frakturhöhe wurde die Wirbelsäule meist von links angegangen, oberhalb von Th10 oder in Abhängigkeit zur Aortenposition selten auch von rechts. Der Verletzungsbereich wurde mittels Bildwandler eingestellt und das Operationsfeld steril abgedeckt. Als Zugangswege sind möglich: Thorakoskopie, Mini-Open/Mini-Lumbotomie, konventionell offen.



Abb. 16: Thorakoskopischer Zugang von links anterolateral. Patient in Rechtsseitenlage.

Die isoliert ventrale Reposition wird erschwert durch:

- Seitlagerung mit aufgeklapptem Tisch (a.-p. Abweichung)
- Lordosierung ohne instrumentelle Hilfe über kleinen Zugang
- exzentrisch gelegenes anterolaterales Implantat (siehe unter „Reposition“)

Bohrlöcher für die Platte

Operationstechnisch wurde bei der Vorbereitung für das Anbringen der winkelstabilen Platte auf den anzustrebenden tangentialen Verlauf der dorsalen Bohrlöcher zum Spinalkanal (Führungsdrähte, Orientierung im Raum bei korrekter Lagerung) geachtet. Um Ausrissen des Implantats entgegenzuwirken, wurden die beiden ventralen Bohrlöcher bzw. Schrauben konvergierend entsprechend der Zielbohrung gesetzt. Bei winkelstabilen Systemen entfällt die bikortikale Schraubenverankerung, sodass hier die Schrauben die kontralaterale Seite nicht durchstoßen mussten.

Vorbereitung der Span-Empfängerstelle

Da eine gute Vorbereitung der Empfängerstelle wesentlich ist, wurden der Frakturbereich und die beschädigte Bandscheibe ausgemeißelt. Sämtliches Bandscheibengewebe wurde sauber entfernt, da es neben der mechanischen Barrierewirkung potenziell eine inflammatorische Reaktion auslösen und somit das Fusionsergebnis gefährden kann. Zunächst wurde mit der Segmentausräumung begonnen, um frühzeitige Knochenblutungen zu vermeiden. Nach der Bandscheibenentfernung erfolgte das Anfrischen und Entknorpeln der Grundplatte des cranial angrenzenden Wirbels bis zur Kapillarblutung. Die Randzonen dieser Grundplatte wurden mit dem Meißel begradigt und somit spongiös eröffnet. Nach caudal wurde das Spanbett in Form einer Nut schrittweise ausgemeißelt.

Wenn nicht explizit die Hinterkante ausgeräumt wurde, musste stets ein sicherer Abstand zum Spinalkanal eingehalten werden. Die Achsneigung im Lot des ausgearbeiteten Spanbetts wurde gewahrt, um die spätere axiale Spankompression zu begünstigen. Die Maße des Spanbetts wurden anhand präoperativer Aufnahmen abgeschätzt. Für die spätere zentrale Lage des Spans sorgte die Tiefenausschachtung nach kontralateral, wobei die kontralaterale Wand nicht durchstoßen wurde.

Sicherheitsabstände zur Aorta und zum Spinalkanal wurden durch die Kenntnis der Dimensionen ventrodorsal und vorherige Abschätzung anhand der CTs gewahrt.

Reposition

Die Reposition wurde durch die spezielle Lagerung und manuelle Lordosierung von außen bewerkstelligt.

Bisherige Instrumentarien setzen mit der Hebelarmwirkung exzentrisch von der Seite an und werden an Ausriss gefährdeten, spongiösen Wirbelkörperarealen verankert. Eine Distraction

wie bei einer dorsalen Instrumentierung ist aus Gründen dieser Repositionseigenheiten mit diesem Instrumentarium für die Lordosierung nicht sinnvoll.

Beckenkammspan-Interposition

Die notwendige Spanlänge wurde intraoperativ abgemessen. Zum besseren Verklemmen unter Kompression und aufgrund von Sägeverlusten wurden wenige (1 bis 2) Millimeter zur Messung addiert und ein trikortikaler vorderer Beckenkammspan in üblicher Weise und möglichst vom breitesten Areal der Crista iliaca entnommen.

In korrekter Ausrichtung und mit spongiöser Seite voran wurde der Span in die vorbereitete Nut eingefalzt. Die Spaneinlage erfolgte so, dass eine gute Kompression erreicht (Rütteltest) und der Defekt durch das Knochentransplantat ausgefüllt wurde.

Die früh eingebrachten posterioren Schrauben sollten stets die Orientierung und Lotausrichtung für die Ausschachtung und Spanpositionierung erleichtern (Abb. 17 b).

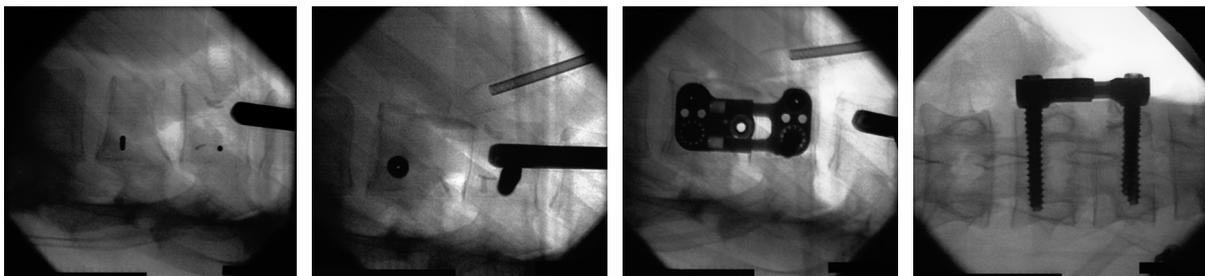


Abb. nach 17 a)–d): Intraoperative Röntgendarstellungen zeigen a) der Orientierung dienende Drähte und b) Schrauben sowie eingefalzten Span und c)–d) monosegmental angebrachten TeleFix® in sagittaler und a.-p. Projektion.

Anbringen des TeleFix®-Implantat

Die posterioren Schrauben wurden nach präoperativer Abmessung im CT parallel zur Hinterwand in den oberen Quadranten des oberen Wirbelkörpers und in den unteren Quadranten des unteren Wirbelkörpers eingebracht (Abb. 17). Nachdem das TeleFix®-Implantat mit einem Implantathalter fest auf den Knochen gedrückt wurde, erfolgte unter handfestem Anziehen das Einbringen der selbstverriegelnden anterioren Schrauben mit präoperativ im CT abgemessener Länge. Abbildung 18 zeigt die anteriore Schraubenplatzierung anhand eines bisegmentalen Modells.



Abb. 18: Eindrehen einer selbstverriegelnden anterioren Schraube eines bisegmentalen TeleFix [49].

Falls erforderlich, konnte eine Spankompression durch eingebrachten Implantatspreizer und Sechskantschraubenzieher bewirkt werden. Da der Span in der Regel gut verklemmte, konnte auf die zusätzliche Kompression meist verzichtet werden.

Postoperativ wurde das radiologische Operationsergebnis am stehenden Patienten kontrolliert. Die beiden Röntgenaufnahmen in Abbildung 19 dokumentieren das Implantat und den Span postoperativ unter Körperlast.

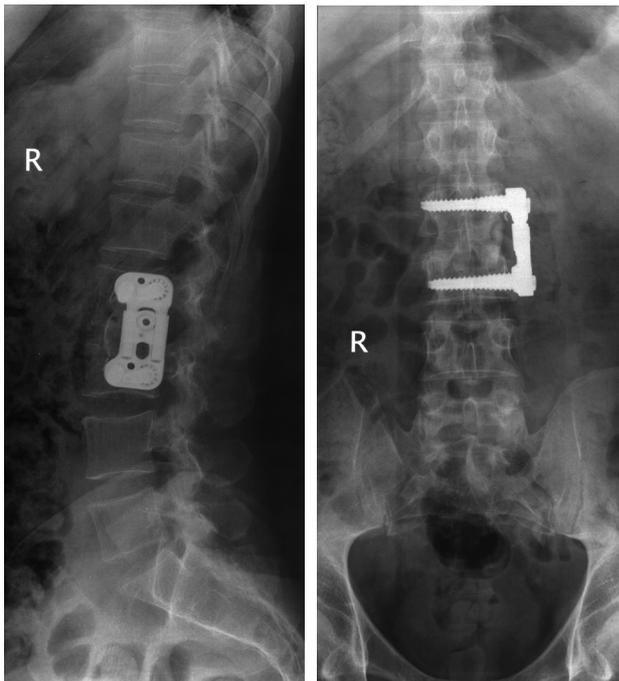


Abb. 19 a)–b): Röntgenaufnahmen in a) sagittaler und b) a.-p. Projektion nach ventraler Spondylodese mit ventraler Stabilisierung.

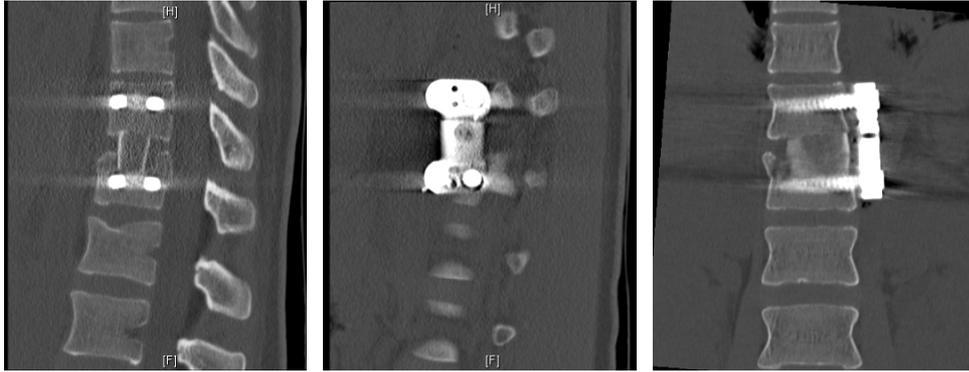


Abb. 20 a)–c): CT-Aufnahmen in a)–b) sagittaler und c) a.-p. Projektion nach ventraler Spondylodese mit ventraler Stabilisierung.

4.2.2 Ventrale Spondylodese mit dorsaler Stabilisierung

Bei vorgenommener dorsaler Stabilisierung erfolgte die ventrale Spondylodese ebenfalls wie oben beschrieben. Zur intraoperativen Orientierung können Spickdrähte als Horizont dienen, um den Wirbel auszumeißeln und den Span einzufalzen. Bei vorhandener dorsaler Sicherung der Reposition durch den Fixateur interne kann von einer zusätzlichen Reposition von ventral absehen werden. Auf die explizite Kontrolle der a.-p. Achse kann verzichtet werden, da der bereits eingebrachte Fixateur interne die Reposition hält.

4.2.3 Postoperative Nachbehandlung

Die stationäre postoperative Nachbehandlung der Patienten umfasste Wundkontrollen und neurologische Funktionsprüfungen, das Entfernen der Thoraxdrainage sowie Röntgenkontrollen des Thorax. Eine sichere Thromboseprophylaxe und Analgesie wurden durchgeführt. Des Weiteren erfolgte die Mobilisation unter physiotherapeutischer Anleitung und adaptierte Physiotherapie (Triflow Atemgymnastik, Kreislaufgymnastik) mit anschließender Mobilisation aus dem Bett sowie Mobilitäts- und Alltagstraining unter Vermeidung starker Rotation und Flexion des Rumpfes [14].

4.3 Datenerhebung

Die Erhebung allgemeiner Patientendaten und operationsbezogener Daten erfolgte anhand elektronischer Patientenakten aus der klinikinternen Datenverarbeitungssoftware und anhand analoger Akten.

Messungen und Datenerhebungen mittels radiologischer Bildgebung (Frakturklassifikation und -lokalisierung, Beurteilung von Schrauben, Span und Spinalkanal, Winkelmessungen,

Messung von Abständen und relativen Höhen) wurden direkt im klinikeigenen PACS durchgeführt oder anhand von digitalisierten analogen Filmaufnahmen (Röntgenbilder, CT) erhoben, welche unter Zuhilfenahme einer medizinischen Bilddatenmanagementsoftware (DICOM-viewer K-PACS) analysiert wurden. In den für das Datenmanagement erstellten Excel-Tabellen wurden alle relevanten Variablen erfasst.

Hinsichtlich der radiologischen Bildgebung zum Zeitpunkt der Erstversorgung musste teilweise auf externes Bildmaterial zurückgegriffen werden, sofern die Röntgenbilder und Computertomogramme nicht im UKS aufgenommen wurden.

4.3.1 Aufnahme- und Patientendaten inkl. allgemeine demographische Daten

Um den allgemeinen Behandlungsverlauf abzubilden, war es nötig, die relevanten Aufnahme- und Patientendaten zu erfassen.

Folgende Variablen wurden berücksichtigt: Alter, Geschlecht, Begleiterkrankungen, Begleitverletzungen, neurologische Ausfälle, erstversorgendes Krankenhaus, Diagnosen, Lokalisation und Frakturklassifikation nach AO [34].

Des Weiteren waren die zeitlichen Umstände vor und während des Aufenthaltes im Universitätsklinikum von Interesse. Erfasst wurden 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 in Intermediate Care (IMC) oder Intensivstation
- (5) Dauer des stationären Aufenthaltes

4.3.2 Spezielle klinische Daten im Zusammenhang mit den Operationen

Die mit den Operationen zusammenhängenden Daten umfassten: OP-Verfahren (endoskopisch, Mini-Open, offen), Konversionsrate, Operationsdauer (die Dauer der ersten und zweiten Operation wurden bei zweizeitigem Vorgehen addiert, zusätzliche sonstige intraoperative Frakturbehandlungen außerhalb der hier untersuchten wurden jeweils abgezogen), geschätzter Blutverlust, Bedarf an Erythrozytenkonzentraten, Verwendung eines Cell Saver Systems, neurologische Ausfälle (mit besonderem Augenmerk auf die unteren Extremitäten postoperativ), 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) [35], durch drei Untersucher mit Reevaluation bei nicht konkordanter Einteilung
- McCormack Klassifikation (Load Sharing Score) [36], durch zwei Untersucher mit Reevaluation bei nicht konkordanter Einteilung

4.3.3.2 Prä- und postoperativ erhobene radiologische Parameter

Die Messung der Grunddeckplattenwinkel (a.-p. und seitlich) sowie des Körperwinkels erforderten die Lokalisation definierter Wirbelkörperendplatten (Abb. 21 bis 22):

- Monosegmentaler Grunddeckplattenwinkel (GDW) sagittal: Winkel zwischen Grundplatte des frakturierten Wirbelkörpers und Deckplatte des cranial benachbarten Wirbelkörpers in seitlicher Projektion (= Gardner segmental deformity angle)
- Monosegmentaler Grunddeckplattenwinkel (GDW) a.-p.: Winkel zwischen Grundplatte des frakturierten Wirbelkörpers und Deckplatte des cranial benachbarten Wirbelkörpers in anterior-posteriorer Projektion.
- Körperwinkel (KW) oder Keilwinkel: Winkel zwischen Grund- und Deckplatte des verletzten Wirbels

Winkelangaben wurden bei Kyphose oder linkskonvexer Seitneigung mit negativem Vorzeichen versehen.

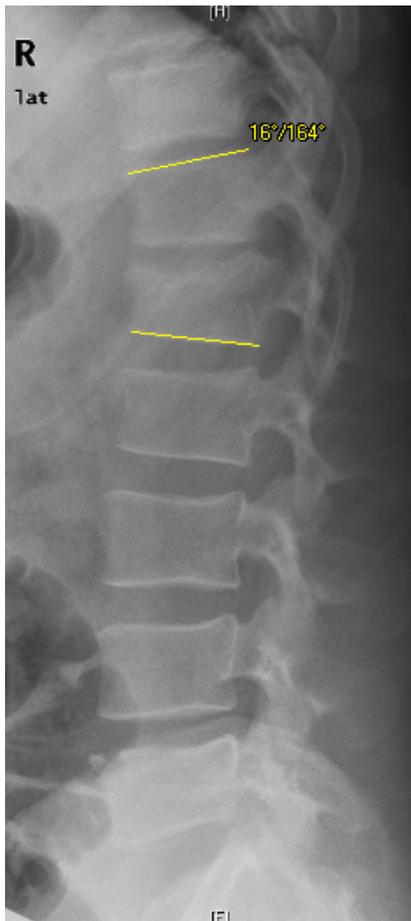


Abb. 21 a): GDW monosegmental seitlich
(A3.1, LWK 1, Gruppe V).

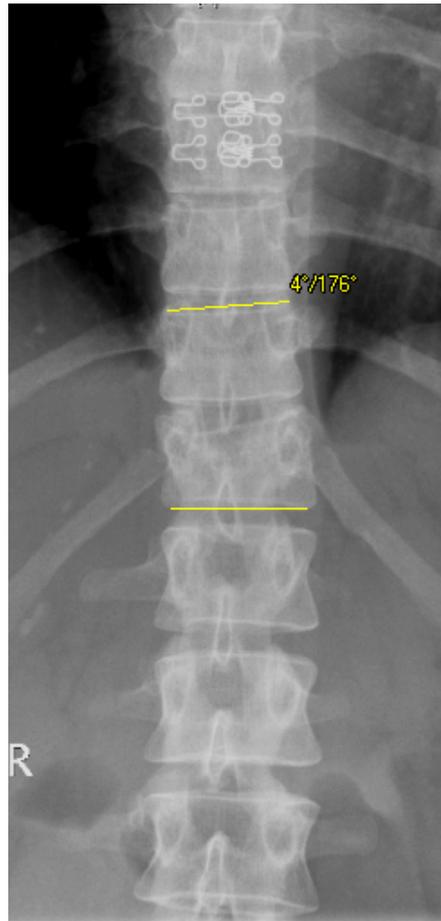


Abb. 21 b): GDW monosegmental a.-p.
(A3.1, BWK 12, Gruppe V).

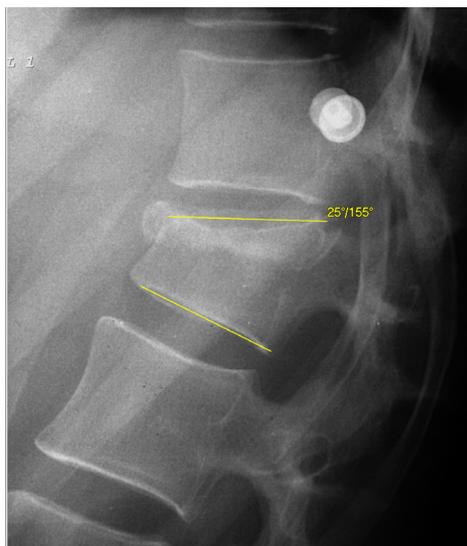


Abb. 22: Körperwinkel
(A3.1, LWK 1, Gruppe DV).

Beurteilung des Spinalkanals und der relativen Wirbelkörperhöhe:

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

$$S = \frac{s}{\frac{1}{2}(s1 + s2)}$$

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 ventral („V“) in Prozent:

$$V = \frac{v}{\frac{1}{2}(v1 + v2)}$$

Quotient aus ventraler Höhe des verletzten WKs („v“) und Mittelwert der ventralen WK-Höhen ober- („v1“) und unterhalb („v2“) des verletzten WKs; bei Serienverletzungen Höhe der nächst gesunden WK

- 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 in Grad: GDW postoperativ abzüglich GDW präoperativ
- Korrekturumfang des Spinalkanal: Spinalkanalweite postoperativ abzüglich Spinalkanalweite präoperativ
- Beurteilung und Klassifizierung der Pedikelschraubenlage des Fixateur interne innerhalb der dorso-ventralen Gruppe nach Zdichavsky (Anhang 7.1, Abb. 41)
- Spanachse: Winkel des Spans zur Wirbelsäulenachse bzw. der Vertikalen im Sagittalbild der Wirbelsäule; 0° bis 6° wurde als Idealachse definiert, da eine Abweichung von ± 5° kaum relevant oder klinisch merkbar ist bei einer Messungenauigkeit von ± 1°
- Spanposition (Abb. 23): Position des Spans anhand des in Drittel gegliederten Wirbelkörpers (ventral, mittig, dorsal)

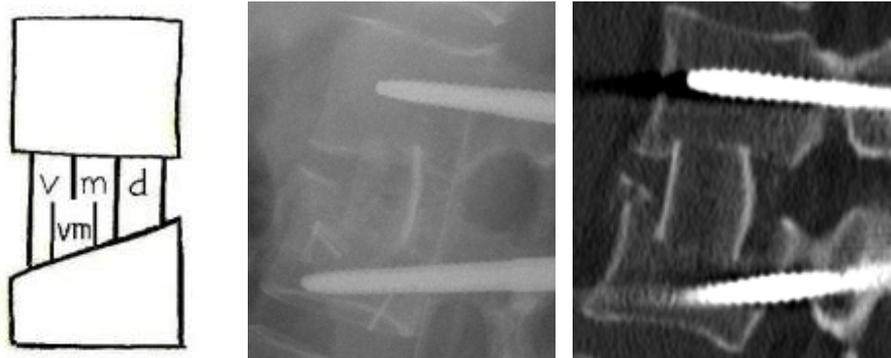


Abb. 23 a)–c): a) Einteilung der Spanpositionen in schematischer Darstellung in ventral (v), mittig (m) und dorsal (d); für eine detaillierte Einteilung ist zusätzlich die ventral-mittige Position aufgeführt. b)–c) Beispiel: Span in mittiger Position und grenzwertig regelrechter Achsstellung in einer sagittalen Röntgen- und CT-Aufnahme (gleicher Fall).

- Bezüglich TeleFix® (isoliert ventraler Eingriff): größter Abstand zwischen Implantat und Wirbelsäule sowie kleinster Abstand zwischen Implantat und Aorta anhand des postoperativen axialen CT-Bildes in Millimetern (Abb. 24)

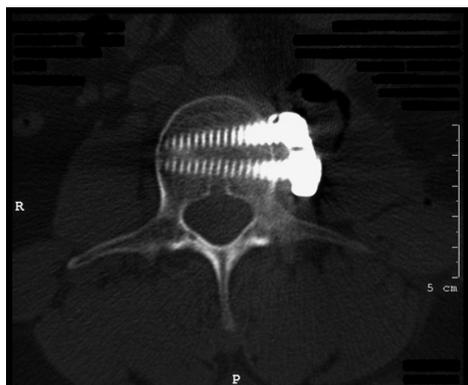


Abb. 24: Axiale CT-Aufnahme zur Messung der Abstände Implantat/Wirbelsäule und Implantat/Aorta.

4.4 Statistische Auswertung

Die beschriebenen Rohdaten wurden zum Zweck der Analyse zunächst in Excel-Mappen (allgemeine Daten, spezielle Daten und radiologische Daten) erfasst.

Alle statistisch relevanten Werte (Mittelwert, Standardabweichung, Median, Streuung (Minimum bis Maximum), Quantile 25% bis 75%) wurden unter Verwendung von Excel berechnet und in Form von Tabellen und Diagrammen dargestellt. Boxplots wurden mit Hilfe der Software „GraphPad Prism“ erstellt. Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe der Statistikprogramme „SigmaStat“ und „SPSS“. Das Signifikanzniveau wurde auf maximal $p < 0,05$ normiert. Für hoch signifikante Unterschiede wurde es auf maximal $p \leq 0,001$

festgelegt. 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
- Korrelationskoeffizient bei Rangkorrelation nach Spearman und bei normalverteilten Messwerten nach Pearson, als Maß für lineare Zusammenhänge zweier Messgrößen (Winkelgrade)

5 Ergebnisse

5.1 Die Behandlungsgruppen

Das Patientenkollektiv umfasste 35 Patienten. Entsprechend der Behandlungsart befanden sich 20 Patienten in der dorso-ventralen Gruppe DV und 15 Patienten in der isoliert ventralen Gruppe V.

5.1.1 Eigenschaften des Patientenkollektivs

Im Median lag das Alter zum Zeitpunkt der Behandlung in Gruppe DV bei 40 Jahren mit einer Spanne von 20 bis 53 Jahren. Gruppe V umfasste Patienten im Alter von 19 bis 57 Jahren, der Median lag bei 40 Jahren. In beiden Gruppen waren Altersgipfel zwischen 20 und 25 Jahren sowie zwischen 40 und 50 Jahren erkennbar.

Mit 10 Frauen und 10 Männern lag in der dorso-ventralen Gruppe eine ausgeglichene Geschlechterverteilung vor. Anders sah es in der ventralen Gruppe aus, sie bestand überwiegend aus Männern (11 Männer und 4 Frauen).

5.1.2 Frakturklassifikationen

Im Gesamtkollektiv fanden sich Frakturen unterschiedlicher Schwere. Zur isoliert ventralen Versorgung waren jedoch nur reine Kompressionsfrakturen (Typ A3.1 und A3.2) zugelassen. Im Folgenden sind die behandelten Wirbelsäulenfrakturen nach AO klassifiziert (Abb. 25) und nach ihrem Load Sharing Score charakterisiert (Abb. 26). Des Weiteren sind sie entsprechend ihrer Häufigkeiten innerhalb beider Gruppen dargestellt (Abb. 27).

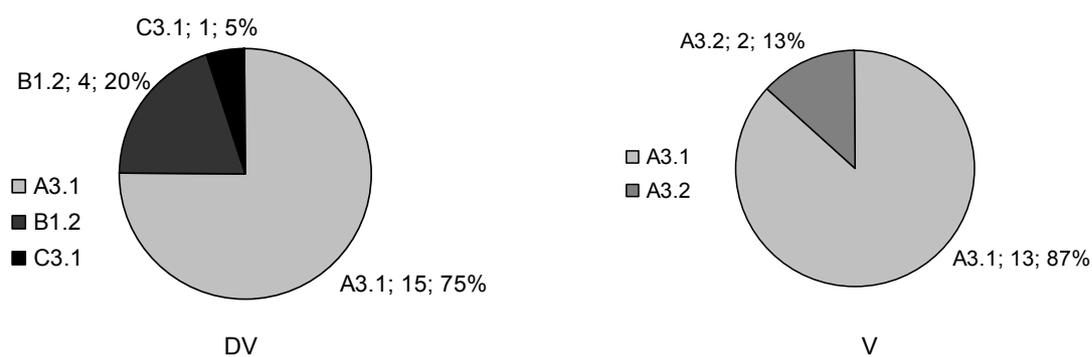


Abb. 25 a)–b): Frakturklassifikation nach AO der DV-Gruppe und der V-Gruppe.

In beiden Gruppen waren mehrheitlich Berstungsfrakturen vom AO-Typ A3.1 repräsentiert (Abb. 25). Isoliert ventral behandelt wurden darüber hinaus zwei Frakturen des AO-Typs A3.2 (Berstungsspaltbruch), deren caudaler Spalt undisloziert war. Die dorso-ventrale Gruppe enthielt neben 15 Typ A Frakturen auch B- und C-Typen mit einem Anteil von insgesamt 5 aus 20 Frakturen.

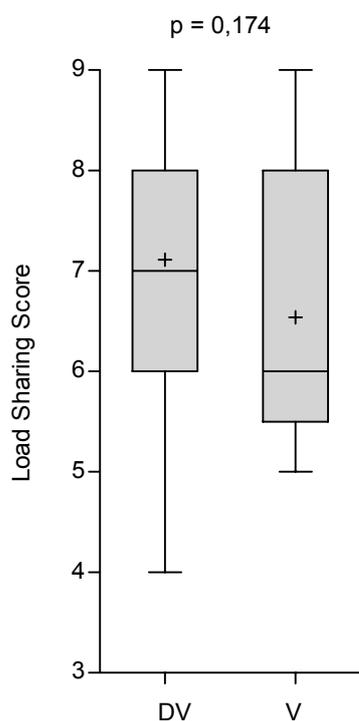


Abb. 26: Load Sharing Score (Gruppe DV und V). Boxplots mit Median (-), Mittelwert (+), Quantile 25%–75% (Box) und Min–Max (\perp – \top).

Bei der Betrachtung des Load Sharing Scores (LSS) lagen die Mittelwerte beider Gruppen bei ca. 7 (\pm 1) Punkten (Abb. 26).

Die Häufigkeitsverteilung des Scores in Anbetracht des AO-Typs stellte sich wie folgt dar (Abb. 27).

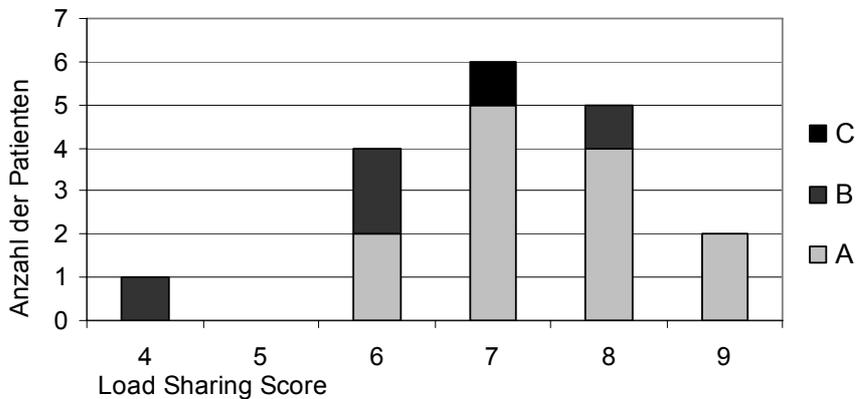


Abb. 27 a): Häufigkeitsverteilung des Load Sharing Scores unter Berücksichtigung des Frakturtyps, Gruppe DV.

Als Ausreißer galt eine Wirbelsäulenfraktur, die dem Typ B1.2 nach AO zugeordnet wurde, und im Load Sharing Score lediglich 4 Punkte erreichte (Abb. 27 a). Aufgrund der schwerwiegenden diskoligamentären Instabilität war in diesem Fall eine Spondylodese ventral indiziert.

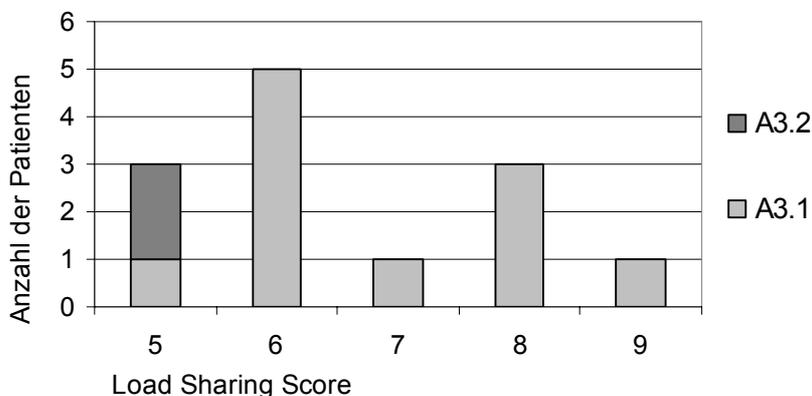


Abb. 27 b): Häufigkeitsverteilung des Load Sharing Scores unter Berücksichtigung des Frakturtyps, Gruppe V.

5.1.3 Begleitverletzungen und Begleiterkrankungen

Die Entscheidung der Operationsmodalität bezieht das Ausmaß an Begleitverletzungen mit ein. Es befanden sich elf Patienten (55%) mit Begleitverletzungen in der dorso-ventralen Gruppe, darunter sechs Polytraumata. Unter den Polytraumata waren die B- und C-Frakturen vertreten. Das dorso-ventrale Kollektiv enthielt vier weitere Wirbelkörperfrakturen und eine Becken-/Sakrumverletzung. Die isoliert ventrale Gruppe schloss drei Patienten

(20%) mit Begleitverletzungen ein, darunter zwei mit einer weiteren Wirbelkörperfraktur im Sinne einer Serien- bzw. Etagenverletzung.

Die Häufigkeit von Begleiterkrankungen unterschied sich zwischen den Gruppen kaum. In der dorso-ventralen Gruppe lag die Anzahl betroffener Patienten bei fünf, in der isoliert ventralen Gruppe bei vier. Dies entspricht 25% der dorso-ventralen und 27% der isoliert ventral operierten Patienten. Begleiterkrankungen waren: arterieller Hypertonus, Pseudozyste des Pankreas, Zustand nach TIA, chronische Bronchitis, Pneumonie, Herzinsuffizienz, dilatative Kardiomyopathie, Cogan-Syndrom mit Schwerhörigkeit und Tinnitus, kompensierte Niereninsuffizienz bei Zustand nach Nephrektomie, Hashimoto-Thyreoiditis, Adipositas permagna und chronischer Alkoholabusus.

5.1.4 Versorgungszeiten und stationärer Aufenthalt

Die mediane Dauer vom Unfallzeitpunkt bis zur Verlegung ins UKS betrug 2 (DV) bzw. 0 (V) Tage. Am Tag des Unfalls wurden 8 von 20 Patienten (40%) der dorso-ventralen Gruppe und 8 von 15 Patienten (53%) der isoliert ventralen Gruppe im UKS aufgenommen. Die Einweisung erfolgte entweder direkt vom Unfallort durch den Rettungsdienst ins Universitätsklinikum oder indirekt mittels anderer Erstversorger. Die Zeitspanne von der Einweisung ins UKS bis zur Operation belief sich im Mittel auf 2,6 (\pm 1,8) und 3,6 (\pm 1,2) Tage für die Gruppen DV bzw. V. Die beiden Gruppen unterschieden sich bezüglich der genannten zeitlichen Aspekte kaum voneinander.

Der Zeitpunkt der Stabilisierungsoperation (mittels Fixateur interne von dorsal oder TeleFix[®] von ventral) ist in sofern relevant, als dass die Mobilisationsfreigabe und die damit beginnende Rehabilitationsphase nur mit stabilisierter Fraktur erfolgen kann. Zwischen Unfall und Operation der Patienten lag in beiden Gruppen mit im Median 5,5 Tagen bis zur dorsalen Stabilisierung innerhalb der dorso-ventralen Gruppe sowie 5 Tagen im Median bis zur isoliert ventralen Operation eine ähnliche Zeitspanne.

Diese Angaben lassen darauf schließen, dass die Patienten ähnlich frühzeitig mobilisiert werden konnten. Bei stationär vorbehandelten Patienten war die Dauer bis zur Operation in beiden Gruppen tendenziell etwas länger, bei Direktzuweisung etwas kürzer.

85% der DV-Gruppe und 80% der V-Gruppe befanden sich nach ihren operativen Eingriffen einen Tag in intensiver Überwachung (Intermediate Care). Längere Aufenthaltszeiten waren auf eine von Beginn an erhöhte Verletzungsschwere zurückzuführen.

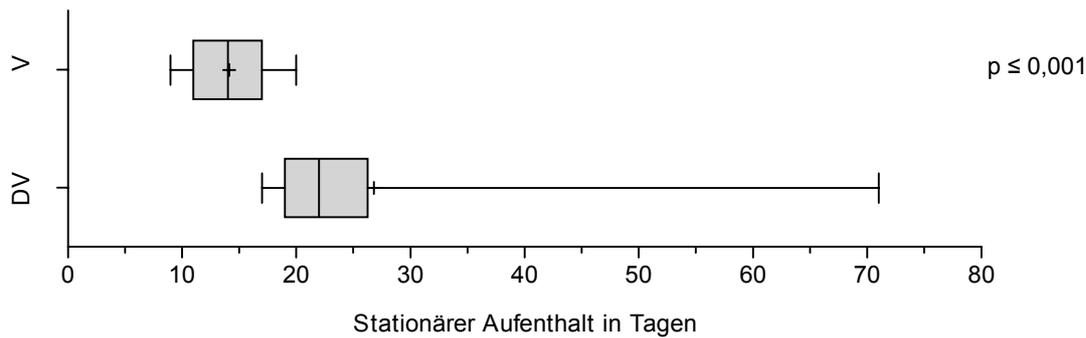


Abb. 28: Dauer des stationären Aufenthaltes der beiden Gruppen in Tagen. Boxplots mit Median (-), Mittelwert (+), Quantile 25%–75% (Box) und Min–Max (\perp \top).

Im Median lag die Dauer des stationären Aufenthaltes (Abb. 28) bei 22 Tagen (DV) mit einer Spanne von 17 bis 71 Tagen, sowie bei 14 Tagen (V) mit einer Spanne von 9 bis 20 Tagen. Folglich waren die Unterschiede der Gesamtliegedauer zwischen den beiden Gruppen signifikant (Mann-Whitney-U-Test; $p \leq 0,001$). Die kürzere Aufenthaltsdauer der Patienten der isoliert ventralen Gruppe ist auf die Einzeitigkeit der Operation zurückführbar (im Vergleich zum zweizeitig operierten dorso-ventralen Patientenkollektiv).

Die längere Aufenthaltsdauer der Patienten in Gruppe DV wurde, in Abhängigkeit des Auftretens von Begleitverletzungen sowie des Vorhandenseins von Begleiterkrankungen, mit der Aufenthaltsdauer in Gruppe V verglichen (Abb. 29).

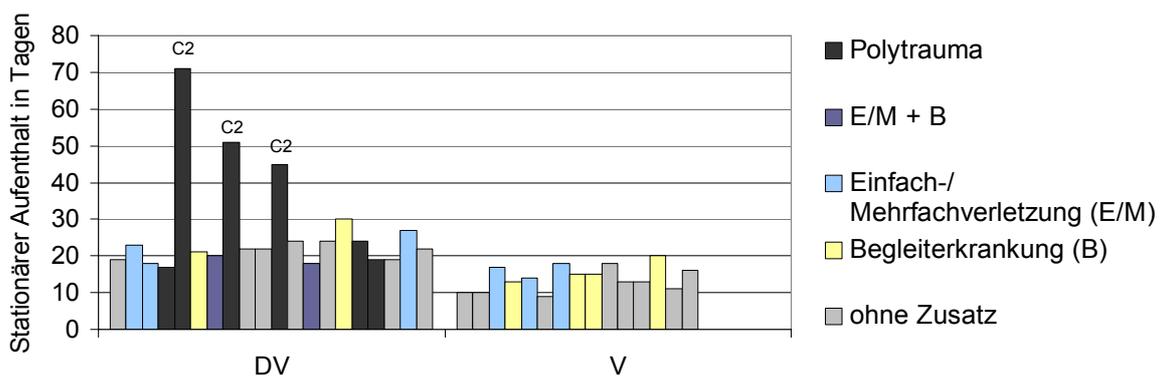


Abb. 29: Einzeldarstellung der stationären Aufenthaltsdauer (chronologisch v. l. n. r.), „C2“ markierte Patienten litten an Alkoholabusus.

Unter Ausschluss der Polytraumata unterschied sich die stationäre Aufenthaltsdauer zwischen den beiden Gruppen DV und V weiterhin in signifikantem Ausmaß voneinander (t-Test; $p \leq 0,001$).

Die lange Aufenthaltsdauer in Gruppe DV (Mittelwert von 22 Tagen verglichen mit Mittelwert von 14 Tagen in Gruppe V) ist entsprechend Abb. 29 am ehesten durch das zweizeitige OP-Konzept mitbedingt gewesen. Der Unterschied der Mittelwerte und Mediane entspricht in etwa der Erholungszeit zwischen dem ersten und dem zweiten Eingriff in der dorso-ventralen Gruppe.

5.2 Operative Behandlung

5.2.1 Höhenlokalisierung von Fraktur und Operation

Die Höhenlokalisierung der Frakturen erstreckte sich von BWK 11 bis LWK 4, mit Ausnahme einer Fraktur des 8. Brustwirbelkörpers. Die Verteilung wird in Abbildung 26 nach anatomischen Gesichtspunkten von cranial nach caudal illustriert.

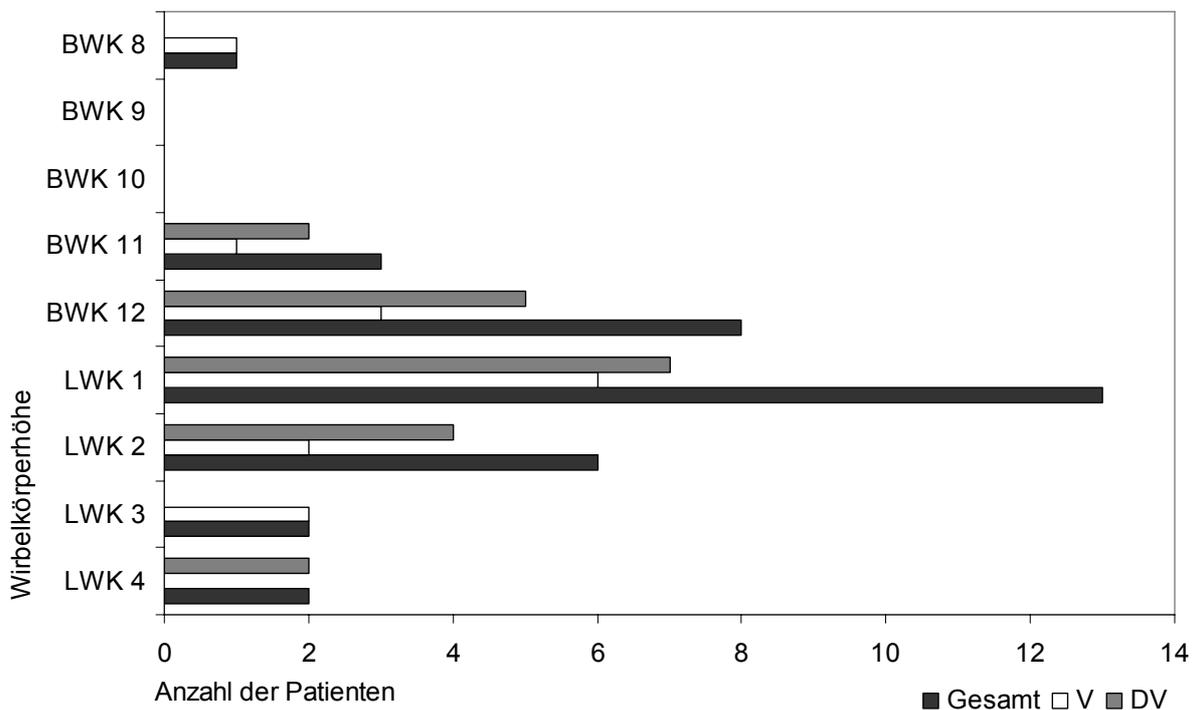


Abb. 30: Häufigkeitsverteilung der Frakturhöhe.

In der Gesamtheit lagen 77% der Frakturen in Höhe von BWK 12 bis LWK 2. Der frakturierte Wirbelkörper wurde operativ mit dem cranialwärts benachbarten Wirbelkörper fusioniert. Ein Patient der dorso-ventralen Gruppe erlitt einen caudalen Berstungsbruch von BWK 12 mit Beteiligung der Grundplatte. In diesem Fall ergab sich aus der Beschaffenheit der Fraktur die Notwendigkeit, den frakturierten Wirbelkörper mit dem caudalwärts benachbarten Wirbelkörper zu fusionieren.

5.2.2 Zugangsverfahren

Oberhalb von LWK 1 wurde das endoskopische Verfahren angewandt. Unterhalb von LWK 1 wurde die Mini-Open Lumbotomie bevorzugt. Bei zu engen Rippenzwischenräumen oder Verklebungen/Vernarbungen, zum Beispiel im Rahmen eines Thoraxtraumas, erfolgten thorakoskopisch assistierte Mini-Open Operationen mit einem maximal 10cm messenden Zugang.

Eine verhältnismäßige Darstellung der drei Operationsverfahren folgt in Abbildung 31.

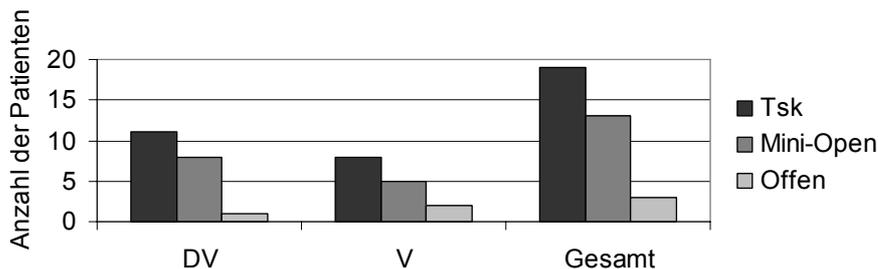


Abb. 31: Häufigkeit der operativen Zugangswege „Tsk“, „Mini-Open“ und „Offen“ insgesamt und in den Gruppen DV und V.

Die Thorakoskopie ist das Verfahren der 1. Wahl und der häufigste Zugang in den untersuchten Kollektiven. Auf die Ausweitung eines Zugangsweges im Operationsverlauf im Sinne einer Konversion musste in keinem Fall zurückgegriffen werden.

Die 35 Patienten wurden mit einer Ausnahme (isoliert ventraler Eingriff bei BWK 8 Fraktur) in Rechtsseitenlage operiert. Der TeleFix® wurde im beschriebenen Fall am BWK 8 linkslateral zur Wirbelsäule angebracht.

5.2.3 Operationszeiten, Blutverlust

Erwartungsgemäß war die Operationszeit für das ventrale Verfahren länger als für den dorsalen Eingriff. Abbildung 32 zeigt die den Verfahren und Gruppen zugeordneten Zeiten.

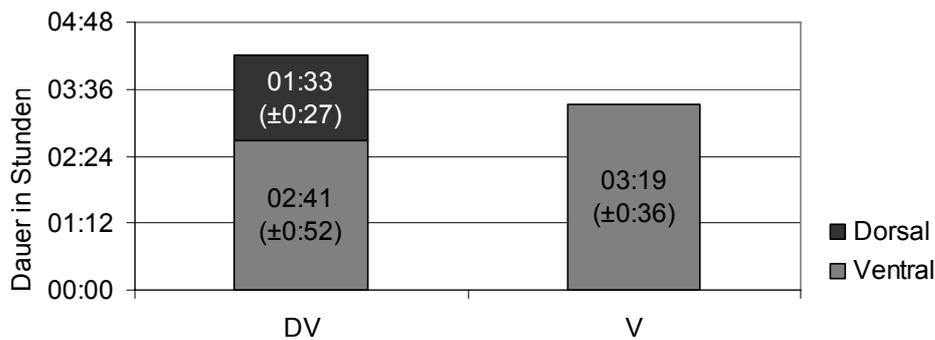


Abb. 32: Mittelwerte der Operationsdauer der dorsalen und ventralen bzw. isoliert ventralen Eingriffe.

Die Zeiten des dorso-ventralen Verfahrens addierten sich auf durchschnittlich ca. 4:20h, wovon der dorsale Eingriff ca. 1:30h in Anspruch nahm.

Die ventralen Eingriffe unterschieden sich signifikant (t-Test; $p = 0,024$) zwischen Gruppe DV und Gruppe V in der Zeit, die für die Platzierung des TeleFix[®] benötigt wurde. Die Operationsdauer der ventralen Operation lag in Gruppe DV bei ca. 2:40h, in Gruppe V bei ca. 3:20h. Die zusätzlichen 40 Minuten nahm die TeleFix[®]-Instrumentierung in Anspruch.

Da sich die durchschnittliche Gesamtoperationsdauer der dorso-ventralen Gruppe auf 4:17h ($\pm 1:03h$) mit im Vergleich signifikantem Unterschied (t-Test; $p = 0,003$) zur ventralen Gruppe (3:19h $\pm 0:36h$) belief, ist die einzeitige isoliert ventrale Methode in der Summe dennoch mit einer geringeren Operationszeit verbunden.

Die Operationszeiten in Gruppe V waren bei thorakoskopisch durchgeführter Operation nicht signifikant länger als beim Mini-Open Zugang (t-Test; $p = 0,055$). In der dorso-ventralen Gruppe waren die Unterschiede noch geringer, sodass sich ebenfalls keine Signifikanz zwischen Thorakoskopie und Mini-Open oder offenem Verfahren ergab (t-Test; $p = 0,168$).

Während der ventralen Operation verloren die Patienten beider Gruppen vergleichbare Mengen Blut. Der Mittelwert in Gruppe V war 345ml ($\pm 211ml$) und der Mittelwert in Gruppe DV 300ml ($\pm 164ml$). Der Blutverlust des dorso-ventralen Verfahrens insgesamt lag im Mittel bei 487ml ($\pm 213ml$).

Zwei Patienten bedurften postoperativ der Zufuhr von Erythrozytenkonzentraten. Nach der isoliert ventralen Operation gab es keinen Bedarf an Erythrozytenkonzentraten. Der Gebrauch eines Cell Saver Systems erfolgte nach dem Prinzip der maschinellen Autotransfusion in beiden Kollektiven für die ventrale Operation, wobei die Retransfusion bei ca. 50% (DV) bis 53% (V) der Patienten erfolgen konnte.

5.2.4 Neurologische Ausfälle

Bei der Aufnahme hatten zwei Patienten der Gruppe DV, beide polytraumatisiert und mit chronischem Alkoholabusus, neurologische Ausfälle. Zum einen handelte es sich um ein posttraumatisches Conus-Cauda-Syndrom (aufgrund einer LWK 2- und Sakrum-Fraktur mit inkompletter L5-Symptomatik), zum anderen um ein posttraumatisches Brown-Séquard-Syndrom (Th9) mit inkomplettem Querschnitt. Postoperativ bestanden sensorische Störungen in den Beinen mit Rückbildung bei Entlassung.

Während des Klinikaufenthaltes bestanden bei einem Patienten regrediente Sensibilitätsstörungen im Versorgungsgebiet L2/3, die am ehesten nach Nervenirritation durch eine abweichende Pedikelschraube entstanden war, welche daraufhin revidiert wurde.

In beiden Gruppen wurden ansonsten keine neurologischen Ausfälle konstatiert.

5.2.5 Komplikationen

In Bezug auf die Operationen traten folgende Komplikationen auf:

Eine der 80 verwendeten Pedikelschrauben (1,25%) des Fixateur interne lag nicht optimal. Diese wurde nach Zdychavsky als 3b eingestuft (Anhang 7.1, Abb. 41) und in der zweiten Operation, die der ventralen Stabilisierung diente, korrigiert.

Innerhalb der dorso-ventralen Gruppe trat eine mechanische Komplikation auf. Der Beckenkammspan war postoperativ verkippt. Die Revision erfolgte zeitnah.

Innerhalb der isoliert ventralen Gruppe entwickelte ein Patient vier Tage nach einer Mini-Lumbotomie (L1/L2) trotz primär operativerseits verzichtbarer Thoraxdrainage einen behandlungsbedürftigen, linksseitigen Pneumothorax.

Da nur Frühergebnisse Gegenstand der Studie sind, war die Frakturheilung nicht abschließend zu beurteilen. In mehreren Fällen konnte eine Konsolidierung bereits bestätigt werden. Hinweise auf schlecht eingehheilte Späne gab es nicht.

Bei zwei Patienten mit klinischer, Implantat bedingter Symptomatik wurde eine Metallentfernung des Fixateur interne durchgeführt. Die ventralen Implantate wurden immer belassen, da eine Revision nicht notwendig wurde.

5.3 Repositionsergebnis und Instrumentierungsergebnis

5.3.1 Grunddeckplattenwinkel

Zur Ermittlung des Repositionsergebnisses wurden definierte Winkelgrade prä- und postoperativ gemessen. Für die Repositionsgüte wurde der sagittale monosegmentale Grunddeckplattenwinkel als Hauptparameter angesehen. Anhand dessen konnte eine signifikante Reduktion der Deformität in beiden Gruppen postoperativ nachgewiesen werden (Abb. 33). Der paired t-Test ergab Signifikanzen ($p \leq 0,001$) in beiden Gruppen.

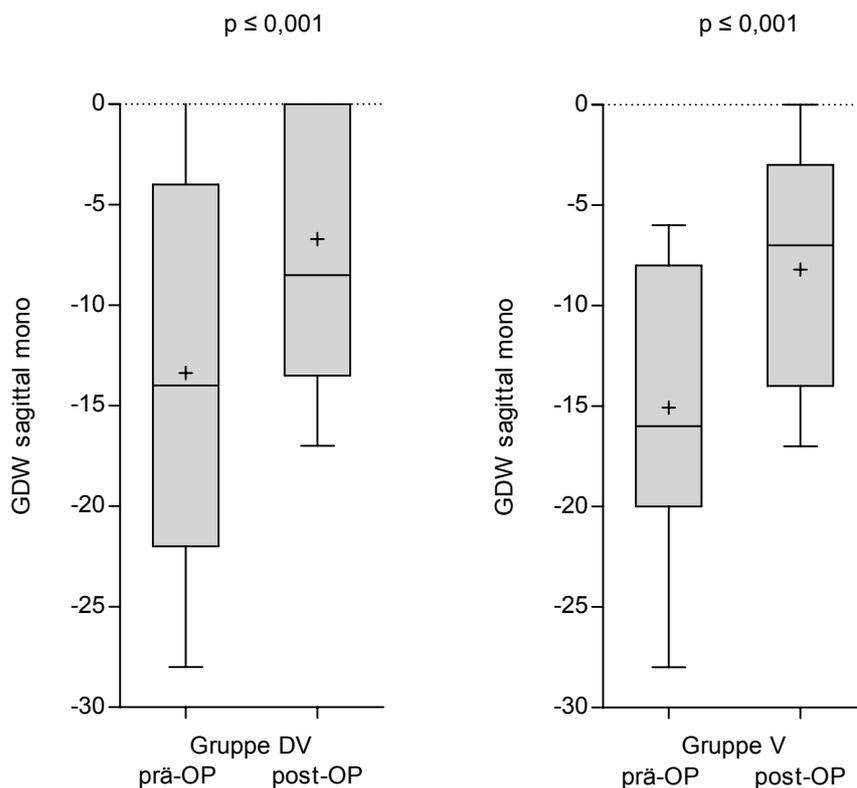


Abb. 33 a)–b): Monosegmentaler Grunddeckplattenwinkel sagittal prä- und postoperativ der dorso-ventralen und isoliert ventralen Gruppe. Boxplots mit Median (-), Mittelwert (+), Quantile 25%–75% (Box) und Min–Max (\perp \top). Negatives Vorzeichen bedeutet kyphotische Stellung.

Die präoperative kyphotische Fehlstellung in der DV-Gruppe lag im Mittel bei $-13^\circ (\pm 9^\circ)$ und wurde postoperativ auf $-7^\circ (\pm 7^\circ)$ reduziert. Innerhalb der ventralen Gruppe waren die Werte ähnlich beziffert: präoperativ betrug die Kyphose $-15^\circ (\pm 6^\circ)$, postoperativ $-8^\circ (\pm 6^\circ)$.

Aus diesen Werten berechnet sich das Korrekturausmaß, welches sich zwischen den beiden Gruppen nicht signifikant unterschied: sagittaler Grunddeckplattenwinkel von $7^\circ (\pm 6^\circ)$ in der DV-Gruppe und $7^\circ (\pm 5^\circ)$ in der V-Gruppe (t-Test; $p = 0,997$).

Eine Korrelation zwischen präoperativem GDW und dem Korrektumfang konnte in beiden Gruppen nachgewiesen werden (nach Spearman; D: $p = 0,008$ und V: $p = 0,018$), so dass bei zunehmender Fehlstellung (sag. GDW) ein größerer Korrektumfang erzielt wurde.

In keinem der Fälle kam es postoperativ zu signifikanter Seitneigung (Abb. 34).

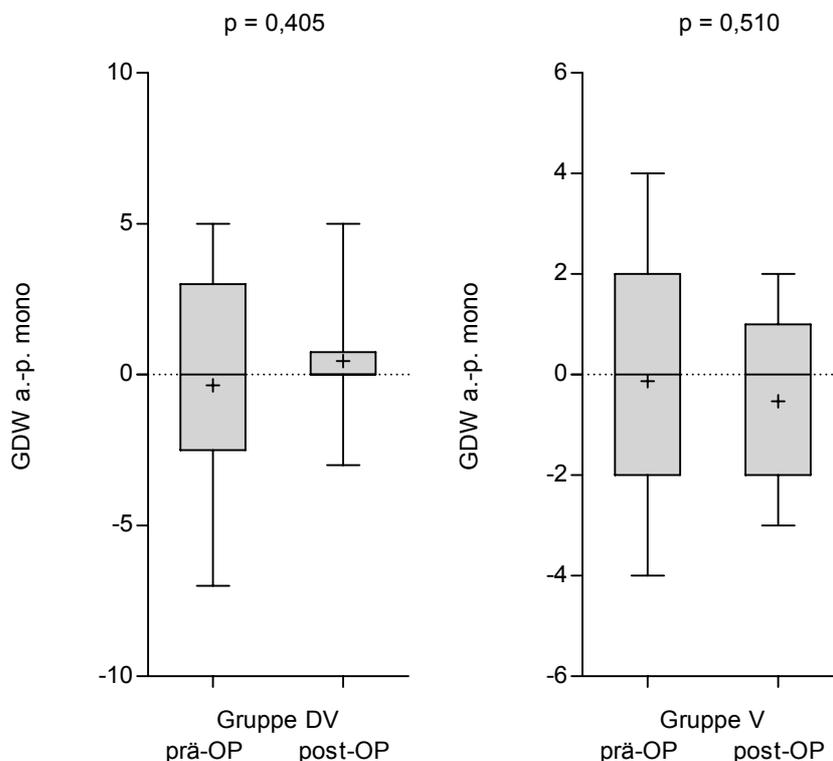


Abb. 34 a)–b) : Monosegmentaler Grunddeckplattenwinkel a.-p. prä- und postoperativ der dorso-ventralen und isoliert ventralen Gruppe. Boxplots mit Median (-), Mittelwert (+), Quantile 25%–75% (Box) und Min–Max (\perp \top). Negatives Vorzeichen bedeutet Linkskonvexität, positives Vorzeichen bedeutet Rechtskonvexität.

Der GDW a.-p. (= Seitneigung) wurde mit Vorzeichen, rechts- (+) und linkskonvex (-), versehen betrachtet. Die Winkel beliefen sich, wie in Abbildung 34 dargestellt (paired t-Test; DV: $p = 0,405$ und V: $p = 0,510$), im Mittel auf $0^\circ (\pm 3^\circ)$ in DV und $0^\circ (\pm 2^\circ)$ in V präoperativ und $0^\circ (\pm 2^\circ)$ in DV und $-1^\circ (\pm 2^\circ)$ in V postoperativ und galten als unerhebliche und folgenlose Deviationen. Eine bevorzugte Neigung in eine Richtung (links- oder rechtskonvex)

war nicht festzustellen. Zusätzlich kam es zu keiner horizontalen Seitverschiebung der Wirbelkörper gegeneinander.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Lagerung des Patienten für die ventrale Operation in Seitenlage keinen erheblichen Einfluss auf den GDW a.-p. hatte. Dieses Resultat war von besonderem Interesse für die isoliert ventrale Stabilisierung, da bei dieser Operation in Seitlage eine bislang nicht fixierte Fraktur eine seitliche Verbiegung erfahren kann, zumal der Operationstisch aufgeklappt wurde. In der dorso-ventralen Gruppe wurde die primäre Reposition durch den Fixateur interne von dorsal im Durchhang, ebenfalls ohne Auftreten von Seitabweichungen, durchgeführt.

5.3.2 Körperwinkel, relative Wirbelkörperhöhe

Es herrschten gleiche Anfangsbedingungen in beiden Gruppen mit Körperwinkeln von -23° ($\pm 6^\circ$) in der dorso-ventralen und -25° ($\pm 6^\circ$) in der isoliert ventralen Gruppe. Körperwinkel und relative ventrale Wirbelkörperhöhe spiegeln einen großen Teil der OP-Indikation wider. Ferner gilt eine mittige relative Wirbelkörperhöhe von über 50% als Eingangskriterium, um monosegmental versorgen zu können. Die Abbildungen 35 a) bis b) illustrieren die präoperative Wirbelkörperform, dargestellt durch die ventralen, mittigen und dorsalen relativen Wirbelkörperhöhen.

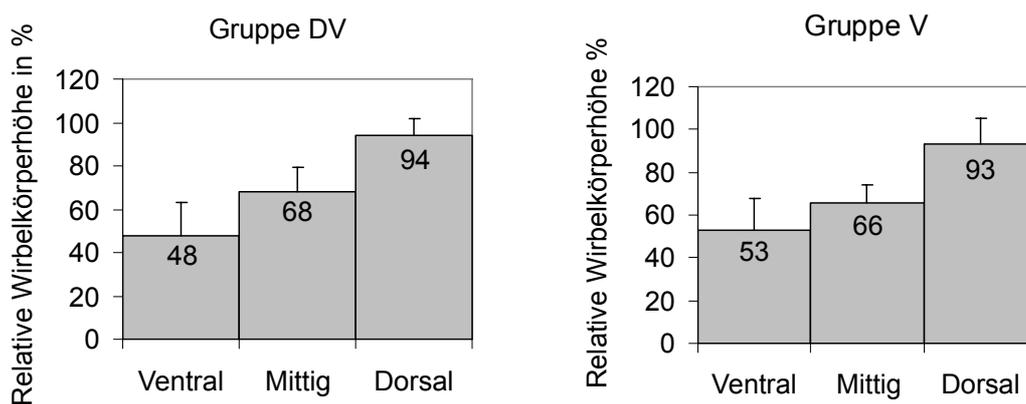


Abb. 35 a)–b): Relative Wirbelkörperhöhe in Prozent ventral, mittig und dorsal der Gruppe DV bzw. Gruppe V.

Die mittige relative Wirbelkörpermindesthöhe war in allen Fällen gegeben. Nach der ventralen Operation mit Ausmeißeln des Frakturwirbels zur Spanverankerung lag in beiden Gruppen eine zusätzliche signifikante postoperative Höhenminderung der mittigen Wirbelkörperhöhe vor (paired t-Test; DV: $p = 0,008$ und V: $p \leq 0,001$) (Abb. 36).

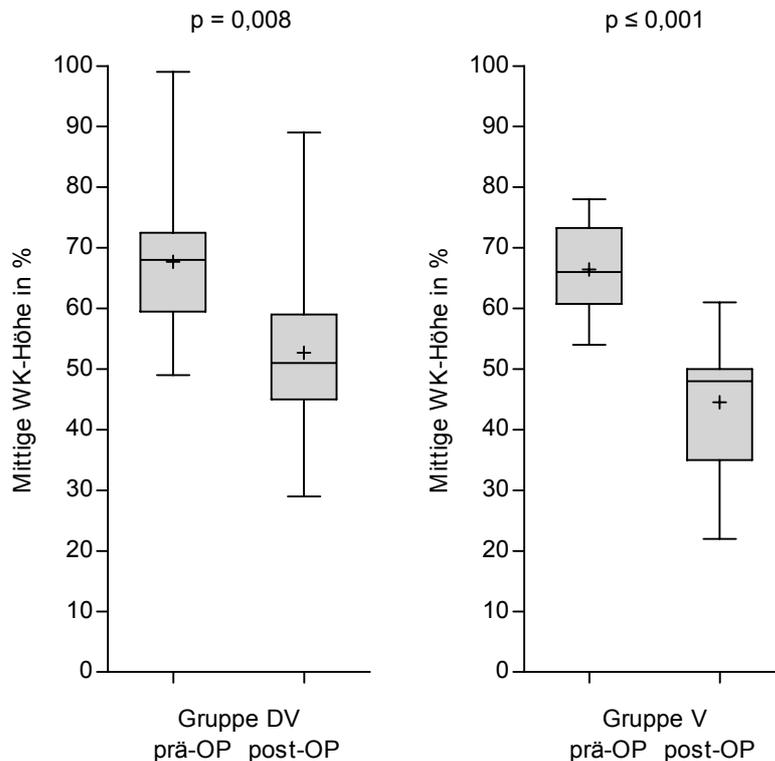


Abb. 36 a)–b): Mittige Wirbelkörperhöhe der DV- und V-Gruppe prä- und postoperativ. Boxplots mit Median (-), Mittelwert (+), Quantile 25%–75% (Box) und Min–Max (\perp \top).

Tendenziell blieben postoperativ 45% bis 50% Restwirbel zur Spanverankerung. Die beiden Gruppen unterschieden sich bezüglich des postoperativen caudalen Wirbelkörperrests nicht signifikant voneinander (t-Test; $p = 0,083$).

5.3.3 Spinalkanalweite

Ein weiterer Aspekt der Reposition war die Rekalibrierung des Spinalkanals. Postoperativ war in beiden Gruppen eine signifikante Reduktion der Spinalkanaleinengung im Vergleich zur präoperativen Enge festzustellen (paired t-Test; $p \leq 0,001$) (Abb. 37).

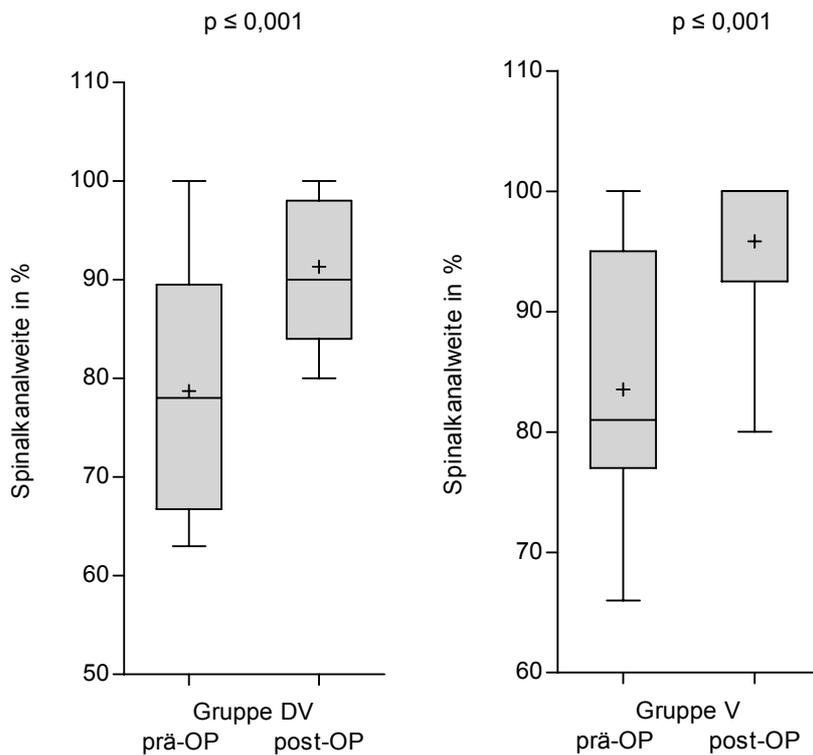


Abb. 37 a)–b): Spinalkanalweite prä- und postoperativ in Prozent, Gruppe DV und V. Boxplots mit Median (-), Mittelwert (+), Quantile 25%–75% (Box) und Min–Max (\perp \top).

Im Mittel stieg die Spinalkanalweite in der dorso-ventralen Gruppe von 79% (\pm 12%) präoperativ auf 91% (\pm 7%) postoperativ. Innerhalb der ventralen Gruppe lagen die Werte in ähnlicher Größenordnung: präoperativ betrug die Spinalkanalweite 84% (\pm 10%), postoperativ 96% (\pm 6%). Aus diesen Werten ergab sich der Korrekturumfang des Spinalkanals, welcher zwischen den beiden Gruppen nicht signifikant verschieden war: 12% (\pm 10%) in der dorso-ventralen und 13% (\pm 10%) in der isoliert ventralen Gruppe (t-Test; $p = 0,751$).

5.3.4 Spanneigung und -position

Die Überbrückung des Frakturbereichs erforderte in beiden Gruppen die ventrale Versteifung zweier Wirbelkörper. Vor Einbringen des Beckenkammspans zur Spondylodese wurde der frakturierte Wirbelkörper bearbeitet, um ein adäquates Spanbett zu schaffen. Das Transplantat war in beiden Gruppen ein autologer trikortikaler Span. Er wurde vom Beckenkamm auf ipsilateraler Seite des Wirbelsäulenzugangs entnommen. Hierbei traten keine Komplikationen an der Entnahmestelle auf. Als ideale Achsneigung des in mittiger Position eingebrachten Spans wurden 0° bis 6° angesehen.

Abbildung 38 veranschaulicht die Einteilung der Späne in die folgenden drei Kategorien:

- (1) nach ventral geneigte Späne ($\leq -6^\circ$)
- (2) Späne in Idealposition ($0^\circ \pm 6^\circ$)
- (3) nach dorsal geneigte Späne ($\geq 6^\circ$)

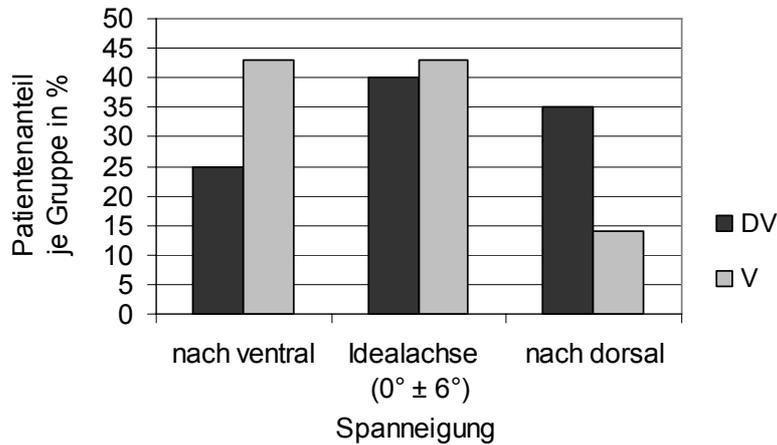


Abb. 38: Relative Häufigkeitsverteilung der Spanachse nach DV und V gegliedert.

In der dorso-ventralen Gruppe lag der Median der Achsneigung bei 0° mit einer Spanne von -25° bis 63° , in der isoliert ventralen Gruppe bei -3° (leicht nach ventral geneigter Span) mit einer Spanne von -16° bis 18° .

Abbildung 39 stellt die relative Häufigkeitsverteilung der postoperativen Spanposition dar.

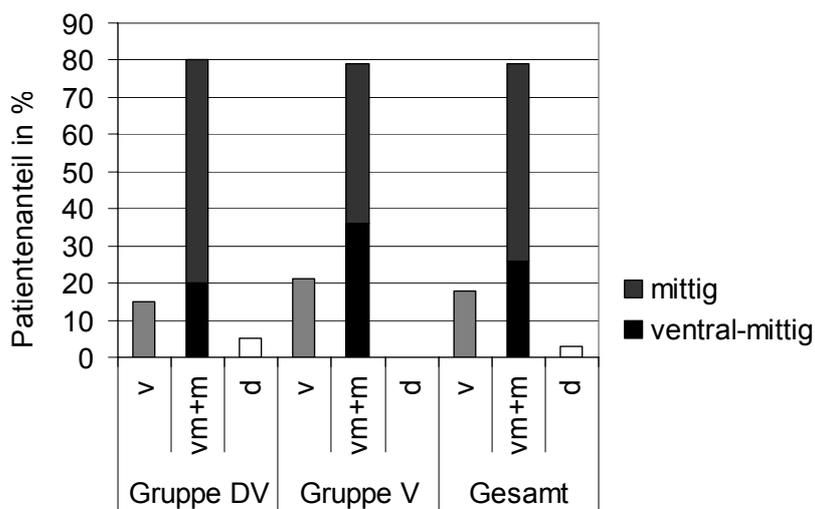


Abb. 39: Relative Häufigkeitsverteilung der Spanpositionen ventral, mittig und dorsal.

Die mittige oder ventral-mittige Position des Spans wurde bei 79% aller Patienten erreicht. Die dorsale Lage wurde am seltensten beobachtet (3%). Einer der dorsal platzierten Späne war der unter Komplikationen geschilderte, sekundär dislozierte Span, welcher zur Korrektur revidiert wurde.

5.3.5 Implantatlage

Lage der Fixateur-Schrauben

In der vorliegenden Untersuchung kamen 95% der Schrauben in Idealposition zu liegen (1a nach Zdychavski; Anhang 7.1, Abb. 41). Von den 80 verwendeten Pedikelschrauben lag eine nicht optimal und wurde wie beschrieben korrigiert. Vier weitere der 80 Schrauben (5%) wichen in nicht revisionsbedürftigem Ausmaß von der Idealposition ab. Sie wurden in den Positionen 1b (drei Mal) und 2a (ein Mal) implantiert.

Lage des TeleFix®

Die Lokalisation des TeleFix® in Bezug zu anatomischen Strukturen, wie der Wirbelsäule und der Aorta, konnte bei 13 der 15 isoliert ventral behandelten Patienten ermittelt werden. Bei zwei Patienten wurde zur Strahlungseinsparung postoperativ keine computertomographische Darstellung durchgeführt, da sie jungen Alters waren und die gute Lage der Implantate intraoperativ in ihren Fällen als gesichert galt.

Der TeleFix® sollte bei seiner Befestigung am Knochen möglichst an diesen herangedrückt sein, da ein zu weiter Abstand vom Knochen theoretisch eine Implantatlockerung oder, durch den längeren Hebel, einen Schraubenbruch verursachen kann. Im Median maß die Distanz des TeleFix® zur Wirbelsäule im untersuchten Kollektiv 5mm, mit einer Spanne von 1 bis 10mm (Abb. 40).

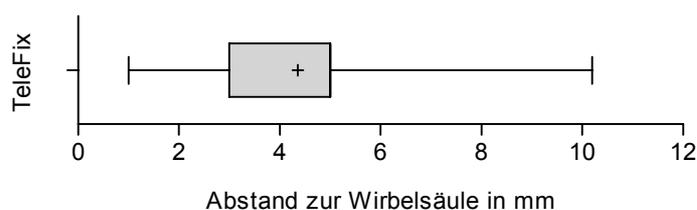


Abb. 40: Abstand des Implantats zur Wirbelsäule (isoliert ventrale Gruppe). Boxplots mit Median (-), Mittelwert (+), Quantile 25%–75% (Box) und Min–Max (\perp \top).

Die Aorta muss bei den ventralen Wirbelsäulenoperationen aufgrund der anatomischen Nähe zur Wirbelsäule immer beachtet werden. Beim Einsetzen des TeleFix® wurde auf einen ausreichenden Abstand zur Aorta geachtet, um eine Arrosion der pulsierenden Aorta durch das Metallimplantat zu verhindern. Im untersuchten Kollektiv lag die Distanz bei 9mm (± 6 mm), mit einem Minimum von 2mm. Komplikationen traten diesbezüglich nicht auf.

6 Diskussion

In der vorliegenden Studie wurden 35 Patienten mit frischer, traumatisch bedingter Wirbelsäulenverletzung und Indikation zur Wiederherstellung der anterioren Säule prospektiv rekrutiert und entsprechend zwei verschiedener Operationsmethoden strikt monosegmental versorgt. Die monosegmentale Fixierung und Fusion ist nur für einen geringen Anteil der Patienten mit thorakolumbalen Wirbelsäulenfrakturen geeignet. Das Verfahren ist aufgrund der speziellen Indikationsstellung relativ wenig verbreitet. Hinzu kommt, dass das Verfahren aufgrund der operativen Besonderheiten, zum Beispiel hinsichtlich der Schraubenplatzierung und Reposition, spezialisierten Abteilungen vorbehalten ist. Darüber hinaus sind rein bzw. isoliert ventrale Verfahren innerhalb der operativen Behandlung von thorakolumbalen Wirbelsäulenfrakturen mit höchstens 6% unterrepräsentiert [41]. Für diese Studie erfolgte die Patientenauswahl anhand der Kriterien der aktuellen Empfehlungen [46, 52] sowie in Anlehnung an den McCormack Score (LSS) [36]. 20 Patienten erhielten eine dorsale Stabilisierung mittels Fixateur interne (zweizeitiges, dorso-ventrales Verfahren), 15 Patienten erhielten eine ventrale Fixierung mittels TeleFix® (einzeitiges, isoliert ventrales Verfahren). Im ventralen Vorgehen wurde unter Verwendung minimal bis wenig invasiver Technik in beiden Gruppen eine autologe Beckenkammspan-Interposition durchgeführt.

Die auf Frühergebnisse fokussierte Arbeit umfasst die Erhebung und Auswertung epidemiologischer, klinischer und radiologischer Daten. Die beiden Gruppen waren sich bezüglich Alter, Frakturhöhe, LSS (7 ± 1), Begleiterkrankungen und ventraler Zugangsart ähnlich. Entsprechend den Einschlusskriterien wurden dorso-ventral auch Polytraumata und Frakturen mit B- oder C-Komponente operiert. Stationäre Aufenthaltsdauer, gesamte Operationsdauer sowie Blutverlust zeigten Vorteile zugunsten des isoliert ventralen Verfahrens, welche im Einzelnen diskutiert werden. Aus radiologischer Sicht herrschten ähnliche Anfangsbedingungen mit Körperwinkeln von -23° bis -25° sowie mittlerer Wirbelkörperhöhe über 50% (66% bis 68%). Die Frühergebnisse der Reposition und der Instrumentierung bilden das primäre Ziel der Arbeit und stehen im Zentrum der Diskussion. In wie fern das isoliert ventrale Verfahren erfolgreich anwendbar ist, und wie sich die aktuelle Implantatentwicklung gestaltet, wird abschließend erläutert.

6.1 Allgemeine Ergebnisse

6.1.1 Stationärer Aufenthalt

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

Tabelle 2: Stationärer Aufenthalt bei dorso-ventralem und isoliert ventralem Verfahren verschiedener Studien.

<i>Stationärer Aufenthalt</i>	<i>DV</i>	<i>V</i>
Eigene Studie	ca. 22 Tage (OP-Intervall 7 Tage)	ca. 14 Tage
Reinhold (MCS II) [42]	ca. 24 Tage (OP-Intervall 9 Tage)	ca. 18 Tage
Höfer [17]	ca. 18 Tage (67% DV, 30% V)	k. A.
Dai [7]	k. A.	ca. 13 bis 14 Tage

Die Aufenthaltsdauer der Patienten in der eigenen Studie und in einer multizentrischen Studie (MCS II) [42] war bei Durchführung des isoliert ventralen Verfahrens ca. eine Woche kürzer als beim zweizeitig dorso-ventralen Verfahren. Die Hauptursache für die Differenz ist das Zeitintervall zwischen der dorsalen und ventralen Operation beim dorso-ventralen Verfahren. In der MCS II betrug es neun Tage (Tabelle 2). Allerdings kann auch das Vorhandensein von Begleitverletzungen zu Beginn der Therapie die Aufenthaltsdauer beeinflussen [17]. Die höhere Rate an Begleitverletzungen im dorso-ventralen Kollektiv war ebenfalls für die längere Verweildauer in dieser Gruppe verantwortlich.

Die Gesamtliegedauer konnte im Kollektiv für das einzeitige Verfahren zwar um eine Woche verkürzt werden, ein direkter Vergleich ist aber aufgrund der Heterogenität der Gruppe nicht sinnvoll.

Die Wahl der isoliert ventralen Methode führte zu keiner signifikanten Verzögerung der Operation. Bis die aufgenommenen Patienten operiert wurden vergingen 2,6 (DV) bis 3,6 (V) Tage. In der MCS II betrug die Zeit bis zur ersten interventionellen therapeutischen Maßnahme über das Gesamtkollektiv der Studie ebenfalls wenige Tage ($2 \pm 5,1$) [42]. Frühzeitiges Stabilisieren hat den Vorteil der frühen Bewegungsfreigabe [46]. Die isoliert ventrale Operationsmethode kann frühzeitig durchgeführt werden, wenngleich die frühzeitige Operation kein prognostischer Faktor für ein erfolgreiches Repositionsergebnis darstellt. Der

Effekt der frühzeitigen Behandlung auf das neurologische Outcome wird kontrovers betrachtet [43].

6.1.2 Operationsdauer

Die Einschätzung der Operationsdauer im Vorfeld dient im Krankenhausablauf organisatorischen Zwecken. Eine komplexe und technisch aufwendige Operation resultiert in einer längeren Operationszeit. Bei Studien zur monosegmentalen Stabilisierung und Fusion bleibt die Operationszeit häufig außer Betracht, insbesondere wenn es um dorso-ventrale Verfahren geht. Die Operationszeiten der eigenen Untersuchung sind mit denen bestehender Studien vergleichbar. Eine Gegenüberstellung ist in Tabelle 3 aufgeführt. In einer der Studien wurde die Operationszeit für kombinierte, dorsale und ventrale Operationen zusätzlich nach Frakturhöhe unterschieden, woraus sich eine tendenziell längere Dauer für Frakturen oberhalb des thorakolumbalen Übergangs ergab [42].

Tabelle 3: Operationszeiten dorso-ventraler und isoliert ventraler Verfahren verschiedener Studien.

<i>Operationszeiten</i>	<i>Verfahren</i>	<i>DV</i>	<i>D (DV)</i>	<i>V (DV)</i>	<i>isol. V</i>
Eigene Studie	nur monosegmental	4:17	1:33	2:41	3:19
Reinhold (MCS II) [41-42]	v. a. bisegmental/ monosegmental	4:58	isol. D: 1:32	(3:26)	3:28
Knop (MCS I) [22]	v. a. bisegmental/ monosegmental	4:14	isol. D: 2:14	(2:00)	3:38
Wood [56]	bisegmental	3:25	k. A.	k. A.	3:53
Höfer [17]	v. a. bisegmental	3:30	(1:04)	2:26	k. A.

Die Operationsdauer dorso-ventraler Verfahren (Spalte „DV“) der in Tabelle 3 ausgewählten Studien umfasst eine Spanne von ca. 3:30h bis 5:00h (eigene Studie ca. 4:20h).

Für das weit verbreitete und standardisierte dorsale Verfahren (Spalte „D (DV)“) wurden in einer aktuellen multizentrischen [42], wie auch in der eigenen Studie, ca. 1:30h benötigt.

Für die ventrale Operation bei dorso-ventralem Vorgehen (Spalte „V (DV)“) wurde in einer unveröffentlichten Studie über den TeleFix® [17] etwas weniger Zeit verwendet als in der eigenen Untersuchung. Die Wirbelkörperdefekte wurden dort zu 97% mittels

Wirbelkörperersatz überbrückt (3% Späne), wohingegen in der eigenen Studie autologe Spantransplantationen zur ventralen Abstützung regelhaft durchgeführt wurden. Demnach ist der Zeitunterschied am ehesten auf die Transplantatentnahme am Beckenkamm zurückzuführen.

Bei isoliert ventralem Vorgehen schneidet das eigene Untersuchungskollektiv hinsichtlich der Operationszeit im Vergleich zu den anderen in Tabelle 3 genannten Studien (Spalte „isol. V“) am besten ab.

Die zeitliche Differenz im eigenen Kollektiv zwischen „isol. V“ und „V“ ergibt, dass für den Operationsabschnitt „Anbringen des TeleFix®“ in reponierter Frakturstellung ca. 40 Minuten einkalkuliert werden können. Das Anbringen des TeleFix® führt zu einer technischen und zeitlichen Erweiterung des ventralen Eingriffs und ist bei isoliert ventraler Versorgung für die Stabilisierung erforderlich.

Insgesamt bestätigt sich, dass das isoliert ventrale Operationsverfahren signifikant kürzer ist als das dorso-ventrale Verfahren [42].

6.1.3 Blutverlust

Zu Zeiten einer multizentrischen Studie aus dem Jahr 2000 [22] war das Zugangsverfahren häufig konventionell offen; d. h. die Operationsmethoden umfassten Thorakotomien, Thorakophrenolumbotomien und Lumbotomien, die in einer neueren multizentrischen Studie [41] überwiegend von thorakoskopischen Verfahren (67,4%) abgelöst wurden. Hierbei zeigte sich, dass ein hoher Anteil minimal invasiver Verfahren am Untersuchungskollektiv mit einem geringeren intraoperativen Blutverlust einherging (Tabelle 4). Im eigenen Kollektiv waren die Blutverluste bei minimal invasivem Vorgehen tendenziell niedrig. Darüber hinaus werden Blutverluste bei offenen, invasiven Verfahren eher unterschätzt, da der „geschätzte“ Blutverlust anhand der Menge an Flüssigkeit bemessen wird, welche sich nach der Operation im Saugbehälter befindet. Hierbei werden andere Blut- bzw. Flüssigkeitsaustritte, wie solche, die in Kompressen und Bauchtücher gesaugt werden, nicht erfasst. Bei thorakoskopischen Zugängen zur thorakolumbalen Wirbelsäule hingegen werden keine Schwämme bzw. Tücher verwendet. Messungen thorakoskopischer Verfahren spiegeln den realen Blutverlust während der Operation daher besser wider [39].

Tabelle 4: Blutverluste bei dorso-ventralem und isoliert ventralem Verfahren verschiedener Studien in Millilitern oder Anteil an Patienten, die Erythrozytenkonzentrate (EKs) erhielten in Prozent.

<i>Blutverluste</i>	<i>DV</i>	<i>D</i>	<i>V</i>	<i>isol. V</i>
Eigene Studie	487ml	182ml	300ml	345ml
Reinhold (MCS II) [42]	959ml (27%)	650ml (21,3%)	k. A.	534ml (11,8%)
Knop (MCS I) [22]	1387ml	828ml	k. A.	876ml
Xu [57]	k. A.			950ml (Titanic Mesh Autograft)
Dai [7]	k. A.			424ml (Structural Autograft) 310ml (Mesh-Cage)

Beim einzeitigen isoliert ventralen Verfahren ist der Blutverlust insgesamt geringer als beim zweizeitigen dorso-ventralen Verfahren (Tabelle 4). Im Vergleich zum einzeitigen dorso-ventralen Verfahren, entstehen beim zweizeitigen dorso-ventralen Verfahren höhere Blutverluste sowie längere Operations- und Durchleuchtungszeiten [9]. Durch das isoliert ventrale Verfahren konnte der Blutverlust im untersuchten Kollektiv auf etwa die Hälfte reduziert werden.

6.2 Reposition

Der Repositionserfolg wird hauptsächlich durch die sagittalen und anterior-posterioren Profile der Wirbelsäule sowie der Weite des Spinalkanals widerspiegelt.

6.2.1 Grunddeckplattenwinkel anterior-posterior

Im anterior-posterioren Profil scheinen erwähnenswerte Abweichungen von über 5° im Verlauf (Nachuntersuchungen/Spätergebnisse) in der Literatur tendenziell häufiger bei isoliert ventralem (38%) als bei kombiniertem (20%) Vorgehen vorzukommen [23]. Entsprechende unmittelbar postoperative Ergebnisse liegen nicht vor.

Potenzielle Gründe für Seitdeviationen nach ventralem Verfahren können in der Position der Wirbelsäule, des Implantats und des Transplantats liegen.

- Die Wirbelsäule befindet sich bei isoliert ventralem Vorgehen während der gesamten Operationszeit einschließlich der Reposition und Fixierung in seitlicher Position. Die Fixierung einer Seitneigung durch die Seitlage auf dem Aufklapptisch und insbesondere durch das notwendige Aufklappen des Segments in Frakturhöhe ist daher zu diskutieren. Um zwischen den Rippen oder zwischen Rippen und Crista iliaca einen adäquaten Zugang zur Wirbelsäule zu schaffen, ist das Aufklappen der Region hilfreich. Andererseits ist das Ausmaß bei monosegmentaler Stabilisierung weniger groß als bei bisegmentalen Verfahren. Eine Seitdeviation kann bei solch kurzstreckigen Verfahren nicht oder nur in geringfügigem, unerheblichem Ausmaß fixiert werden.
- Für postoperative a.-p. Seitneigungen im Zusammenhang mit ventralen Implantaten werden gelegentlich die einseitig lateralen Positionen dieser ventralen Platten verantwortlich gemacht. Die Tendenz zu häufiger links- als rechtskonvexen Abweichungen im Verlauf wurde in einer unveröffentlichten Arbeit beschrieben. Als Ursache wurde die seitliche Position der meist linksseitig angebrachten Platte vermutet [17].
- In der Literatur wird nicht zuletzt als Auslöser für im Verlauf auftretende Seitabweichungen eine asymmetrische ventrale Abstützung angesehen. Diese entstehe durch die Asymmetrie des Beckenkammspanns, der mit seiner caudalen, sich verjüngenden Kante voran eingebracht wird. Das breitere Spanende mit zusätzlicher Kortikalisbegrenzung kommt auf der Zugangsseite zu liegen. Hieraus resultiert, dass axialen Kompressionskräften auf der Zugangsseite ein größeres Widerlager als auf der Gegenseite entgegengebracht wird. Die Folge ist eine meist

linkskonvexe Seitneigung [23]. Faktisch könnte die Verwendung von Cages helfen, die Rate postoperativer Seitdeviationen zu reduzieren. Allerdings wurden auch nach Einbringen von Wirbelkörperersatzimplantaten erwähnenswerten Seitabweichungen nachgewiesen. In einer unveröffentlichten Arbeit wurden trotz Überbrückung mittels Titan-Cages (kombiniert mit TeleFix[®]) bei 16% der Patienten eine Seitneigung von über 5° beobachtet [17]. Daher steht die korrekte mittige Positionierung eines Wirbelkörperersatzes oder annähernd symmetrischen Spans mit guter Kontaktflächenverbindung für das Erreichen einer regelrechten Fusion ohne Seitdeviation im Vordergrund.

Im Gegensatz zur oben genannten These des im Verlauf gehäuftten Auftretens seitlicher Deviationen nach isoliert ventraler Versorgung, zeigte sich in den Frühergebnissen des untersuchten Kollektivs noch keine gehäufte Seitneigung. Das feste Andrücken des einseitig lateral ansetzenden Implantats während der Operation wirkt diesem vermeintlichen Mechanismus entgegen und wurde in den Operationen zu dieser Untersuchung durchgeführt. Aus zwei Gründen ist das Andrücken der TeleFix[®]-Platte an den Knochen erforderlich. Erstens wird hierdurch das regelrechte a.-p. Profil wieder hergestellt. Eine Überkorrektur mit folgender Seitneigung in die Gegenrichtung ist zu vermeiden und unter Bildwandler mittels a.-p. Projektion zu kontrollieren. Zweitens ist das Anpressen des TeleFix[®] nötig, damit das Implantat näher an der Wirbelsäule liegt. Hierdurch ist es weniger auftragend und besser Kraft aufnehmend. Die Implantatfixierung spielt eine wichtige Rolle für das biomechanische und radiologische Ergebnis in a.-p. Projektion. Die Wahl eines winkelstabilen Implantats zur Frakturfixierung scheint eine protektive Wirkung auf das Wirbelsäulenprofil nach mehrfacher Belastung zu haben [12]. In der vorliegenden Arbeit wurde nach isoliert ventralem Eingriff, mit Reposition in Seitlage auf dem Aufklapptisch, postoperativ keine relevante Seitneigung vorgefunden. In der vorliegenden Arbeit zeigten sich unerhebliche und folgenlose Deviationen von durchschnittlich -1° ($\pm 2^\circ$) (DV) und 0° ($\pm 2^\circ$) (V) ohne bevorzugte Neigung zu einer Seite trotz exzentrisch, einseitig anterolateralem Implantat. Diese Ergebnisse entkräften die genannten möglichen Einflussfaktoren auf das Wirbelsäulenprofil für das eigene Kollektiv. Allerdings beschränken sich diese Ergebnisse auf die früh-postoperative Stellung.

6.2.2 Grunddeckplattenwinkel sagittal

Die Wiederherstellung des sagittalen Profils der Wirbelsäule wurde in der vorliegenden Arbeit durch monosegmentale Reposition von dorsal oder von ventral erreicht. Beide Zugangsmöglichkeiten erreichten gute radiologische Ergebnisse.

Vorteile und Nachteile der Reposition von dorsal

Ein Vorteil der Reposition von dorsal liegt in der Effektivität der bereits durch die Lagerung erfolgten geschlossenen Reposition. Allein aufgrund des durch die Bauchlage und die Unterpolsterungen bedingten ventralen Durchhangs, kann die Aufrichtung der kyphotischen Fehlstellung erreicht werden. Die Kraftarme der vier Schanzschrauben sind vorteilhafte Instrumentarien, um diese sog. indirekte Reposition anatomisch ideal zu vervollständigen. Durch den langen Hebel ist die bewegende Kraft gut regulierbar. Die Lordosierung und die nachfolgende Distraction können gezielt vorgenommen werden.

Mittels der beweglichen Schanzschrauben und Frakturbacken kann die traumatisch bedingte Fehlstellung kontrolliert reduziert werden. Der freie Winkelspielraum der Frakturbacken beträgt theoretisch $+18^{\circ}/-18^{\circ}$ (Anhang 7.2, Abb. 42). Der geringere Winkelspielraum an den caudalen Frakturbacken durch die besondere Schraubenplatzierung bei monosegmentaler Instrumentierung limitiert jedoch die Repositionsmöglichkeit insgesamt.

Da die vier Schanzschrauben bei monosegmentalem Vorgehen in zwei direkt benachbarten Wirbelkörpern liegen, ist der Operationsraum wesentlich beengter als bei bisegmentalen Verfahren. Hinzu kommt, dass die caudalen Schanzschrauben durch den Schrägverlauf so weit nach cranial reichen, dass sie im Zuge der Reposition an den cranialen Schanzschrauben vorbeikreuzen müssen und entsprechend in unterschiedlicher Konvergenz eingedreht sein müssen (siehe Methodenteil). Die räumliche Enge erschwert das kontrollierte hindernisfreie Bewegen der Schanzschrauben und kann sich auf das Repositionsmanöver tendenziell nachteilig auswirken.

Nachteile der Reposition von ventral

Die Reposition von ventral erfolgt manuell durch Druck von dorsal auf Frakturhöhe. Bislang gibt es kein probates Instrumentarium, um einen Wirbelkörper über einen ventralen Zugang unmittelbar zu lordosieren und zu distrahieren. Der TeleFix[®] ist zur Fixierung einer bereits reponierten Fraktur geeignet, nicht jedoch zur Reposition selbst. Diese kann durch die TeleFix[®]-Platte sogar eingeschränkt sein [17]. Ein effektives Repositionsinstrument müsste extern am Wirbelkörper so fest greifen, dass es den Belastungen bei der Wirbelkörperdistraction ohne auszureißen standhält. Alternativ könnte es zwischen den Wirbelkörpern ansetzen, was jedoch mit der Gefahr des Einbrechens in die Wirbelspongiosa verbunden ist.

Nach erfolgtem manuellem oder externem Repositionsmanöver kann die Reposition direkt fixiert werden. Bis der TeleFix[®] vollständig angebracht ist, wird sie durch das ins Spanbett

eingeklopfte Transplantat gehalten. Bei dieser Vorgehensweise besteht die Gefahr, dass der Span durch die Druckbelastung einsintert und sich frühzeitig lockert. Bei bereits erfolgter Reposition von dorsal ist die Spineinlage einfacher, da der Span gegen die Spannkraft des Fixateur eingefalzt wird.

Vor der operativen Frakturbehandlung lagen mit Körperwinkeln von $-23^\circ (\pm 6^\circ)$ in der dorso-ventralen und $-25^\circ (\pm 6^\circ)$ in der isoliert ventralen Gruppe gleiche Anfangsbedingungen vor. Alternativ zum Körperwinkel wird auch der Grunddeckplattenwinkel als Indikationsparameter für die operative Behandlung verwendet [42]. Er ist jedoch individuell verschieden und kann auch mit der Frakturhöhe variieren (Anhang 7.3, Tabelle 5). Daher ist hinsichtlich des GDW eher der Korrekturgewinn bzw. das Korrekturausmaß relevant. Der Korrekturgewinn durch die jeweilige Operationsmethode war in beiden Gruppen signifikant. Hinsichtlich des Korrekturausmaßes unterschieden sich die beiden Gruppen nicht (7° in der dorso-ventralen und 8° in der isoliert ventralen Gruppe). Dies entkräftet die Annahme, dass isoliert ventral Versorgte einen geringeren Korrekturgewinn erreichen [17, 42].

In einer multizentrischen Studie [42] war der Korrekturumfang nach isoliert ventraler Behandlung in allen Bereichen (BWS, TLÜ, LWS) geringer als nach dorsaler und kombinierter Operation, jedoch war auch die präoperative Fehlstellung weniger stark ausgeprägt. Die Korrelation zwischen Fehlstellung und Korrekturumfang wird durch die eigenen Ergebnisse bestätigt. In beiden Gruppen war eine Korrelation zwischen präoperativem GDW und dem Korrekturausmaß nachweisbar dahingehend, dass höhergradige Fehlstellungen einen höheren Korrekturumfang bedingten.

Hinsichtlich des radiologischen Repositionsergebnisses liefert die monosegmentale isoliert ventrale Stabilisierung mit Fusion im Rahmen dieser Arbeit ebenso gute Frühresultate wie die verglichene dorso-ventrale Stabilisierung. Dieses Ergebnis ging auch aus der oben genannten multizentrischen Studie hervor, in der keine statistisch signifikanten Unterschiede für das postoperative radiologische Ergebnis der evaluierten Operationsmethoden (ventral, dorsal, kombiniert) festgestellt wurden. Monosegmentale Korrekturgewinne betragen dort ebenfalls ca. 6° [42]. Mit der Frakturlokalisierung variierte allerdings das Korrekturausmaß (Anhang 7.3, Tabelle 5). In der vorliegenden Untersuchung wurde aufgrund der geringen Fallzahl auf eine Einteilung der Korrekturgewinne anhand der Frakturlokalisierung verzichtet.

In einer anderen Untersuchung konnten nach monosegmentaler dorso-ventraler Versorgung von frischen Typ B und Typ C Frakturen mit und ohne zusätzliche anteriore Fixierung gute Frühergebnisse erreicht werden. Die mittlere Kyphosereduktion betrug ca. 9° (Anhang 7.4, Tabelle 6). Im Langzeitverlauf kam es allerdings zu erheblichen Rekyphosierungen bis auf Werte der präoperativen Kyphosewinkel [8].

Beim Vergleich prä- und postoperativer sagittaler Winkel ist zu beachten, dass die posttraumatischen Aufnahmen in der Regel am liegenden Patienten durchgeführt werden. Es ist davon auszugehen, dass bei aufgerichtetem Patienten, ein von der Frakturmorphologie abhängiger sagittaler Winkel entsteht, der größer ausfällt. Nach der operativen Behandlung können die radiologischen Aufnahmen am stehenden Patienten erstellt werden. Auch hier ist zu beachten, dass durch das Aufrichten das sagittale Profil verändert wird. In einer unveröffentlichten Studie wurde postoperativ ein Patient in beiden Positionen radiologisch mit dem Ergebnis einer Kyphosedifferenz im Bereich von 5° abgebildet [17]. Vergleicht man posttraumatische Liegendaufnahmen mit postoperativen Standaufnahmen, fällt das Korrekturausmaß tendenziell geringer aus.

Vor- und Nachteile des Repositionszugangs hinsichtlich des Spinalkanals

Welche Vor- oder Nachteile bietet der Repositionszugang von dorsal oder anterolateral hinsichtlich des messbaren postoperativen radiologischen Ergebnisses der Spinalkanalweite und der entsprechenden Operationstechnik?

Im Rahmen dieser Arbeit konnten präoperativ bestandene Spinalkanalengen in beiden Gruppen effektiv reduziert werden. Präoperativ waren Engstellen von im Mittel 21% und 16% (DV/V) zu verzeichnen, welche auf 9% und 4% (DV/V) reduziert werden konnten. Die Korrektur betrug somit 12% bis 13%. In gleichen Größenordnungen lagen auch die Ergebnisse einer multizentrischen Studie über ein Gesamtkollektiv mit einer mittleren Reduktion von 30% auf 15% [42]. Da die Messung der Spinalkanalweite leicht Schwankungen unterliegt, ist die Aussagekraft dieses Parameters auf Tendenzen beschränkt. Posttraumatische Engstellen sollten durch die Operation beseitigt werden. In der Literatur werden postoperativ verbliebene Engen im Bereich von bis zu 20% bzw. 25% ohne neurologisches Defizit als unproblematisch bezeichnet, da sie sich durch Remodeling noch zurückbilden [30-31].

Anknüpfend an die Frage nach den technischen Vor- und Nachteilen des Repositionszugangs von dorsal hinsichtlich des Spinalkanals sind folgende Zusammenhänge ausschlaggebend. Im Falle einer frakturbedingten Stenose sind mittels dorsalen Zugangs Lordosierung sowie Distraction mit Ligamentotaxis und indirekter Hinterkantenreposition gut realisierbar. Die Dekompression des Spinalkanals von dorsal erfolgt indirekt und ist dadurch im Vergleich zu direkten Verfahren gering invasiv. Durch das mittels fixierter Frakturbacken gesicherte Distaktionsmanöver wird der Wirbelkörper aufgerichtet, und der Anulus sowie das hintere Längsband werden gespannt. Hierdurch werden nach hinten verlagerte bzw.

verkippte Fragmente indirekt mittels Ligamentotaxis zurückgeschoben [55]. Das Prinzip der Ligamentotaxis setzt ein intaktes Ligamentum longitudinale posterius voraus, hat aber den Vorteil, dass der Spinalkanal mittels gedeckter Reposition entlastet werden kann. Da es in dieser Arbeit speziell um monosegmentale Verfahren geht, wird hier erneut auf die Unhandlichkeit der kurzen Fixierung als Schwierigkeit bei der Reposition und Instrumentierung von dorsal hingewiesen. Ob die Effekte der Ligamentotaxis und der indirekten Hinterkantenreposition besser bei mono- oder bei mehrsegmentalen Zugängen zum Tragen kommen, ist bislang unklar. Andererseits scheint auch der Dehnungseffekt des hinteren Längsbandes oder der direkte Ansatz bindegewebiger Strukturen an der Hinterkante für den Effekt wenig ausschlaggebend zu sein. Entscheidend könnten auch Vakuumeffekte im aufgerichteten Wirbel sowie ein straffer Anulus fibrosus auf Segmentebene sein [33, 46].

Wenngleich einige Operateure die posteriore indirekte Dekompression und Instrumentierung bevorzugen, befürworten andere isoliert ventrale Zugänge, damit neuronale Strukturen direkt dekomprimiert werden können [45]. Der Vorteil ventraler bzw. anterolateraler Techniken liegt in der direkten Dekompression knöcherner und bindegewebiger Pathologien. Aufgrund des direkten Zugangs können Hinterkantenfragmente reseziert werden, was eine Rückenmarkentlastung fördern kann [44]. Eine bessere Symptomrückbildung, verglichen mit posterioren Verfahren, ist allerdings nicht eindeutig beschrieben.

Vereinzelt existieren Untersuchungen, die unter anderem isoliert ventrale monosegmentale Stabilisierungen mit ventraler Instrumentierung beschreiben [3, 7-8]. Die interne anteriore Fixierung ist hierbei obligat, da initial uninstrumentierte Rekonstruktionen mit anteriorem Transplantat zu hohen Pseudarthrosraten (bis 100 %) führen [44] und durch die Dislokation eines Hinterkantenfragments sogar einen bislang intakten Spinalkanal gefährden können. Nach stattgehabter Fraktur und Dislokation können bestehende Ankylosen oder knöcherne Hindernisse eine Spinalkanaleinengung begünstigen. Dem erschwerten ventralen Repositionsmanöver [3] durch die dorsal befindlichen gefährdeten Strukturen steht die Möglichkeit zur direkten Resektion von Hinterkantenfragmenten gegenüber.

In den eigenen Vergleichsgruppen unterschieden sich die postoperativen Spinalkanalweiten nicht signifikant voneinander. Hinterkantenresektionen erfolgten unkompliziert und waren gut praktikabel. Das qualitative Ergebnis der ventralen spinalen Dekompression war effektiv.

6.3 Instrumentierung

6.3.1 Technik

Pedikelschraubenplatzierung

Die häufigsten Komplikationen der Pedikelinstrumentation sind Pedikelschraubenfehllagen und Pedikelfrakturen [29]. Die Grundlage für eine gute Schraubenlage bei dorsaler monosegmentaler Fixierung liegt in intakten Pedikeln als Durchgangspforte für die Schrauben sowie in ausreichend intakter Knochensubstanz des frakturierten Wirbels zur sicheren Verankerung der Schrauben [19]. Ist zu wenig Knochensubstanz vorhanden, können die Schrauben Wirbelkörperbruchstücke oder den gesamten Restwirbelkörper sprengen. Im eigenen Vorgehen wurde eine Wirbelkörpermindesthöhe von 50% als Eingangskriterium für die monosegmentale Stabilisierung und Fusion festgelegt. Postoperativ war die mittige Wirbelkörperhöhe signifikant geringer als präoperativ, ohne gruppenspezifische Differenz zu zeigen ($p = 0,083$). Tendenziell blieb jedoch mehr Restwirbelhöhe nach dorso-ventraler Stabilisierung übrig. Pedikelschraubenaustritte wurden nicht verzeichnet. Folglich ist von einer für die monosegmentale dorsale Fixierung ausreichende intakte Knochensubstanz zur sicheren Verankerung der Schrauben auszugehen.

Die Technik der transpedikulären Fixierung wurde hinsichtlich der Risiken und Komplikationen in zahlreichen Studien untersucht [24], wobei der Pedikelschraubenplatzierung eine große Bedeutung zukommt. Zdichavsky bietet ein geeignetes Score-System für die Pedikelschraubenlage (Anhang 7.1, Abb. 41) [59]. Es beruht auf der Relation der Pedikelschrauben zu den Pedikeln und dem Wirbelkörper. Fehllagen von Grad 3 mit oder ohne neurologische Ausfälle gelten als revisionsbedürftig. Alternativ zu dieser Einteilung kann die Beurteilung der Pedikelschraubenlage in absoluten Werten in Millimetern angegeben werden (in Bezug auf Pedikel, Wirbelplatten oder Wirbelaußenseiten sowie zueinander). Eine korrekte Schraubenlage ersetzt jedoch nicht die Beobachtung des neurologischen Status oder die Kontrolle des Repositionsergebnisses [13, 24].

Die technische Durchführung der dorsalen Fixierung ist durch die Besonderheiten der monosegmentalen transpedikulären Schraubenplatzierung erschwert (siehe Methodenteil). Die Annahme, dass die besondere Platzierung das Ergebnis im Sinne vermehrter Fehllagen verschlechtert, wurde im Rahmen dieser Studie nicht bestätigt. In der vorliegenden Untersuchung kamen 95% der Schrauben in Idealposition (1a nach Zdychavski) zu liegen,

4% der Schrauben befanden sich postoperativ in guter bis tolerabler Position und 1% war revisionsbedürftig. Auf eine Beurteilung von möglichen Schraubenlockerungen wurde aufgrund der frühen Evaluation verzichtet. Nach monosegmentaler Fixierung wurden in einer externen Studie in 2 von 39 nachuntersuchten Patienten (5%) Schraubenlockerungen gefunden [19]. Der Zusammenhang zwischen Fehllagen und Schraubenlockerung ist unklar [25]. Verglichen mit bisegmentalen dorsalen Fixierungen sind die Raten von Fehllagen und Schraubenlockerungen bei monosegmentaler dorsaler Fixierung zufriedenstellend. In der MCS II wurden intraoperativ 18 Schraubenfehlplatzierungen bei insgesamt 699 Patienten gesehen (ca. 1%). Postoperative Implantatfehllagen wurden mit einer Häufigkeit von 2% beziffert, wobei Revisionen aufgrund von Implantatfehllagen sechs Mal erfolgten. Die Klassifikationsarten der meist bisegmental angelegten Studien sind unterschiedlich und die Ergebnisse variieren teils stark. Die im eigenen Vorgehen als ausreichend sicher zu beurteilende monosegmentale Pedikelschraubenimplantation sollte bei korrekter Indikationsstellung und Beherrschung der Operationstechnik durchgeführt werden. Eine akkurate chirurgische Technik verhindert Komplikationen, die sich aus Fehlern der Durchführung und falscher Indikationsstellung ergeben [13].

Bei monosegmentaler dorso-ventraler Stabilisierung ist die monosegmentale Pedikelschraubenplatzierung erschwert. Das Ergebnis hinsichtlich korrekter Schraubenlage verschlechtert sich unter Beachtung technischer Besonderheiten und frakturspezifischer Voraussetzungen nicht. Eine ausreichend sichere monosegmentale Schraubenplatzierung kann unter Voraussetzung der adäquaten Indikation erreicht werden.

Wirbelkörperresektion

Als relative Indikation zur anterioren Rekonstruktion gilt eine Wirbelkörperzerstörung $> 1/3$ (Wirbelkörperhöhe $< 66\%$). Bei einer Zerstörung $> 2/3$ (Wirbelkörperhöhe $< 33\%$) ist sie empfohlen [52]. Die Überprüfung der präoperativen Werte ergab eine Wirbelkörperhöhe von 48% bis 53% im ventralen Bereich des Wirbelkörpers und 66% bis 68% im mittigen Bereich. Darüber hinaus war ein Minimum von 50% mittiger Restwirbelhöhe Eingangskriterium für das monosegmentale Vorgehen zur Interposition des Spans und zur Verankerung der unteren Schrauben des TeleFix® (Gruppe V) bzw. des Fixateur interne (Gruppe DV). Postoperativ stellte sich eine signifikant geringere mittige Restwirbelhöhe als präoperativ (45% bis 50%) mit tendenziell kleinerem Restwirbelkörper in V, jedoch ohne signifikante Differenz ($p = 0,083$) heraus. Die Entfernung intraoperativ als lose erkannter Frakturfragmente, die Spanbettvorbereitung sowie ein Einsinken des Spans in den Restwirbel kommen ursächlich dafür in Betracht. Diese Höhenverluste sollten bei der Operationsplanung berücksichtigt werden. Die vor der Operation gemessene relative Wirbelkörperhöhe muss groß genug sein,

damit postoperativ genügend Stabilität gegeben ist. Andernfalls bricht der Wirbelkörperrest, auf dem der Span und darüber liegende Wirbelsäulenanteile lasten. Dies gilt für beide monosegmentale Verfahren (Fixateur + Span und TeleFix[®] + Span). Um die Gefahr eines solchen Durchbruchs des Restwirbels zu umgehen, sollte die monosegmentale Fusion nur in Fällen mit genügend intakter Knochensubstanz angestrebt werden. Entsprechend den hiesigen Ergebnissen sollte die ventrale relative Wirbelkörperhöhe mindestens ca. 50% betragen. Die mittige relative Wirbelkörperhöhe sollte präoperativ mindestens ca. 2/3 betragen, um ein sicheres postoperatives Ergebnis mit genügend Knochensubstanz von ca. 50% zu erzielen.

Eine zusätzliche ventrale Instrumentierung wird bei der Verwendung eines kortikospongiösen Transplantats gefordert. Nach dorsaler Fixierung ist sie jedoch nicht obligat. So wurde in einer multizentrischen Studie bei 35% der ventralen Operationen kein ventrales Implantat eingesetzt [42]. Bei monosegmentaler dorsaler Fixierung ist aus Platzgründen die zusätzliche monosegmentale ventrale Fixierung nicht sinnvoll.

6.3.2 Implantate

Aktuellen winkelstabilen Platten wie dem TeleFix[®] werden, verglichen mit nicht-winkelstabilen Implantaten, eine höhere Belastungsstabilität zugeschrieben [9, 12, 40]. Damit die stabilisierende Funktion des winkelstabilen TeleFix[®] optimal zum Einsatz kommen kann, sollte er fest im Knochen verankert sein. Eine stabile Fixierung kann erreicht werden, indem die winkelstabile Platte möglichst nahe am Knochen angebracht wird, sodass das Gewinde der Schrauben in der gesamten Länge der Verankerung im Knochen zur Verfügung steht und das Implantat gut Kraft aufnehmen kann. In der vorliegenden Untersuchung wurde der Abstand zwischen TeleFix[®] und Wirbelsäule mit ca. 5mm (1 bis 10mm) hinreichend gering und erstmalig beschrieben. Insbesondere erscheint somit das Konstrukt anterolateral an der Wirbelsäule nicht zu prominent.

Während die Schraubenlage des Fixateur interne für diese Arbeit aufgrund des monosegmentalen Verfahrens essentiell war, spielte die Lage der TeleFix[®]-Schrauben bei der Auswertung eine untergeordnete Rolle. Die beiden dorsalen Schrauben wurden, entsprechend den vorgegebenen Gewindegewinkeln der Platte, orthograd zur Hinterkante und parallel zur Grund- und zur Deckplatte eingebracht. Die Gewindegewinkel für die ventralen Schrauben waren so geneigt, dass die beiden ventral und die beiden dorsal eingebrachten Schrauben in Konvergenz zueinander lagen.

Eine mittels TeleFix[®] hergestellte Stabilisierung wird als sicher und effektiv beschrieben. Neurologische Symptome durch Komplikationen bei der Implantation oder mangelnde

Stabilität der Platten sind in einer unveröffentlichten externen Untersuchung nicht aufgetreten [17]. Bei Schraubenfehllage kann die stabilisierende Funktion der Platte jedoch nicht gewährleistet werden. Zum Teil werden Fehlplatzierungen oder Fehllagen im Gegenzug auf die winkelstabile Platte zurückgeführt. Da winkelstabile Platten nur einen senkrechten Ansatzwinkel am verriegelnden Schraubenkopf haben, können schwierige anatomische Umstände weniger gut kompensiert werden, als durch die adaptierbare multidirektionale Schraubenplatzierung polyaxialer anteriorer Plattenschrauben.

Hinsichtlich des TeleFix[®] wurden in einer unveröffentlichten, externen Untersuchung Schwierigkeiten mit den ventrocaudalen TeleFix[®]-Schrauben beobachtet. Ihre Platzierung war in 3 von 63 Fällen nicht durchführbar, in 2 von 63 Fällen trat eine Fehllage auf. Darunter zeigte sich ein revisionspflichtiger Durchtritt durch die Grundplatte. Die aufgetretenen Komplikationen kamen durch operationstechnische Schwierigkeiten bei der Justierung der Platte zustande, die auf zu kleine Orientierungsdrähte für die hinteren Bohrlöcher zurückzuführen waren. Die Winkelstabilität des Implantats wurde in diesem Zusammenhang als weitere Ursache für Fehllagen erwogen [17]. Polyaxiale Schrauben können bei schwierigen anatomischen Umständen in der Tat besser angepasst werden als winkelstabile Schrauben.

Allerdings konnte die beschriebene Problematik bei der Technik in der vorliegenden Untersuchung vermieden werden. Als Eingangskriterium zur monosegmentalen Stabilisierung wurden mindestens 50% Wirbelkörperrest vorausgesetzt. So kam es durch ausreichende Knochensubstanz nicht zu Komplikationen bei der Plattenjustierung oder Schraubenplatzierung. Im zeitlichen Verlauf weisen winkelstabile Platten eine prinzipiell andere Fehlerart auf, als nicht-winkelstabile Implantate. Winkelstabile Konstrukte sind weniger anfällig für Abkippen der Schrauben an der Schrauben-Platten-Verbindung und Schraubenlockerung mit Schleifeffekt [12].

Komplikationen der ventralen Instrumentierung können durch das Implantat selbst oder durch die Operationstechnik bedingt sein [15]. Von Komplikationen technischer Art während des ventralen Zugangs wird relativ selten berichtet. Gefürchtet sind Spinalkanalpenetrationen und vaskuläre Verletzungen auf der kontralateralen Seite [21]. Die Verletzung großer Gefäße beim Anbringen eines ventralen Implantats ist extrem selten und in der ventralen Wirbelsäulenchirurgie eher durch komplexere Verletzungen oder Operationen bedingt [27]. Der laterale Zugang von der linken Seite wird empfohlen, da in der Nähe der Aorta besser zu präparieren ist als direkt an der vulnerablen Vena cava inferior. Während die intraoperative Verletzungsgefahr der großen Gefäße durch anatomische oder operative Schwierigkeiten bedingt sein kann, besteht die postoperative Gefahr der Gefäßverletzung in der chronischen Gefäßarrosion durch regelmäßige Gefäßpulsation

gegen das Implantat. Aus diesem Grund sollte das Implantat so flach wie möglich anliegen. Die Implantatentwicklung ging daher zur Konstruktion der heute verwendeten Platten mit dünnerem Profil über. Dennoch ist das Vorstehen der Implantate ein potenzielles Problem an der thorakalen Wirbelsäule. Im thorakolumbalen Bereich sollte das Implantat durch die ventrale Lage der Aorta und der darüber liegenden Psoasmuskulatur keine Probleme bereiten [21]. Der Platzierungstechnik der Platte kommt, wie oben beschrieben, eine bedeutende Rolle zu. Eine unzureichende Freilegung der Deckplatte kann die richtige Plattenplatzierung gefährden [21]. In der vorliegenden Arbeit wurde erstmals die räumliche Nähe des ventralen Implantats zur Aorta untersucht. Im entsprechenden Kollektiv war der Abstand zwischen ventraler TeleFix®-Kante und Aortenaußenwand mit 9mm (\pm 6mm, Min. 2mm) ausreichend sicher. Von vaskulären Komplikationen ist aufgrund der in den postoperativen Computertomogrammen gemessenen Sicherheitsabstände des TeleFix® zur Aorta nicht auszugehen.

Auch bei der dorsalen Instrumentierung sind lebensbedrohliche Aortenverletzung höchst selten [54].

6.3.3 Transplantat

Zur Orientierung bei der Transplantateinlage und der erforderlichen Präparation können in die Wirbelkörper entweder Kirschner-Drähte oder Schrauben für die spätere winkelstabile Platteninstrumentierung gesetzt werden [16]. Bei der Operationsmethode ohne TeleFix® wurden als Orientierungspunkte Drähte verwendet. Nachteilig bei der Verwendung von Drähten ist die Kollision von Instrumenten gegen die Drähte während des Operationsablaufs. Des Weiteren können sich Drähte während der Verarbeitung herauslösen und stellen eine potenzielle Verletzungsgefahr für intrathorakale Organe (Lunge, Aorta) dar. Bei der Operationsmethode mit TeleFix® wurde sich bei der Spanimplantation an den posterioren TeleFix®-Schrauben orientiert. Wie sich herausstellte, kamen die Transplantate im entsprechenden Kollektiv in guter postoperativer Transplantatposition und -achsneigung zu liegen. Die Verwendung der Implantatschrauben als nützliche und adäquate Orientierungsmittel ist einfach und spart Operationsschritte ein. Bei Implantatsystemen wie dem TeleFix® ist die Sicherstellung der Orientierung mittels Schrauben, an Stelle von kleinen Drähten, empfehlenswert.

Für die Transplantateinheilung sowie das kurz- und langfristige Repositionsergebnis sind die Position und Achsneigung des Transplantats relevant. Die zu erzielende mittige oder ventral-mittige Position wurde zu ca. 79% in beiden Gruppen erreicht. Insgesamt war die Spaninterposition gut. In der Gruppe mit TeleFix® war das Transplantat tendenziell seltener

und weniger nach hinten verkippt. Die in der Gruppe DV vereinzelt aufgetretene dorsale Verkipfung oder dorsale Position eines Spanes kann mit einer schlechteren Orientierung oder mit den nach ventral sowie caudal zielenden Fixateur-Schrauben zusammenhängen. Vorstellbar ist, dass die Späne auf die caudalen Schrauben auflaufen und damit der Drall der leichten Dorsalkippung begünstigt wird.

Das im eigenen Kollektiv zur Interposition in Span-Inlay-Technik verwendete Transplantat, in Form des trikortikalen Beckenkammspanns, dient als osteoinduktives Material der Anregung der Knochenheilung [26]. Die Verwendung autogenen Materials zur Knochendefektauffüllung ist der Standard im Hinblick auf Osteogenese, -induktion und -konduktion [28]. Den biologischen Vorteilen hinsichtlich des Spanns stehen potenziell erhebliche Komplikationen bei der Entnahme entgegen [28]. Im eigenen Kollektiv trat diesbezüglich keine kritische Situation auf.

6.4 Ausblick

6.4.1 Implantatentwicklung isoliert ventral mit besserer Position

Zur Verbesserung von Sicherheit, Stabilität und operativer Handhabung isoliert ventraler Implantate werden kontinuierlich neue Stab- und Plattensysteme entwickelt. Prinzipiell sind alle ventralen Schrauben-Stab-Systeme für die Fixierung der untersuchten Frakturen gleich geeignet. Hervorzuheben sind Systeme und Implantate, die minimal invasiv oder endoskopisch anzuwenden sind – wie bereits MACS-TL[®] (Aesculap). Aktuell liegt die Tendenz in der Entwicklung von endoskopisch einsetzbaren Systemen mit verbesserter Position.

Seit der Entwicklung und klinischen Erprobung des TeleFix[®] wurde an der Entwicklung ventraler winkelstabiler Implantate weitergearbeitet. Aktuell gibt es für die isoliert ventrale Versorgung ein Implantat mit guter intraoperativer Anpassungsmöglichkeit hinsichtlich der Kyphosekorrektur („ArcoFix[®]“) [50]. Die Besonderheit dieses winkelstabilen anterioren Plattensystems liegt in der Variierbarkeit der Plattenlänge und der Gelenkwinkel an den beiden Plattenenden (Anhang 7.5, Abb. 43). Die cranialen und caudalen Winkel lassen sich intraoperativ an die individuellen anatomischen Gegebenheiten anpassen, wobei die Korrektur der Fehlstellung in situ durch eine unzureichende Knochenqualität limitiert sein kann. Korrekturen sind step-by-step und all-in-one an den drei Verstellorten möglich. Während bei Verwendung des TeleFix[®] das Transplantat nach dem Einbringen der dorsalen Schraube eingesetzt wird, gibt es beim ArcoFix[®] zwei Möglichkeiten für den Zeitpunkt des Span-Inlays. Die Positionierung des Spans erfolgt gewöhnlich nach der Vorfixierung des ArcoFix[®]. Alternativ kann das Transplantat bei schwierigem anatomischem Zugangsweg vor dem Platzieren des ArcoFix[®] eingebracht werden. Allerdings ist der ArcoFix[®] nicht offiziell auf den endoskopischen Gebrauch ausgerichtet.

Zur endoskopischen oder minimal invasiven Anwendung steht neben dem TeleFix[®] ein weiteres anteriores Plattensystem zur Verfügung („GoldenGate^{TM*}“, Ulrich medical[®]) [51]. Das zweiteilige Plattensystem besteht aus einer C-förmigen Platte zur Vorfixierung und einer gate-Platte zur abschließenden Verriegelung (Anhang 7.5, Abb. 44). Das Plattendesign sorgt bei der Interposition eines Transplantats oder Wirbelkörperersatzes mittels der C-Platte für einen freien Zugang zum Zwischenwirbelraum und ermöglicht ein uneingeschränktes Arbeits- und Sichtfeld. Eine weitere Eigenschaft des GoldenGateTM ist die zentrale Distraction mit einem systemspezifischen Instrument und somit die zentrale Repositionsmöglichkeit zur Lordosierung.

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse können sowohl Anreiz als auch Basis für künftige Vergleiche bieten, in wie weit solche erleichterten Repositionen über die Implantate (ArcoFix[®], GoldenGate[™]) von Vorteil sein können.

6.4.2 Nachuntersuchung, radiologische Fusionsrate?

Zur Vervollständigung der Bewertung der beiden untersuchten Operationsmethoden sollte eine Analyse des klinischen und radiologischen Verlaufs erfolgen.

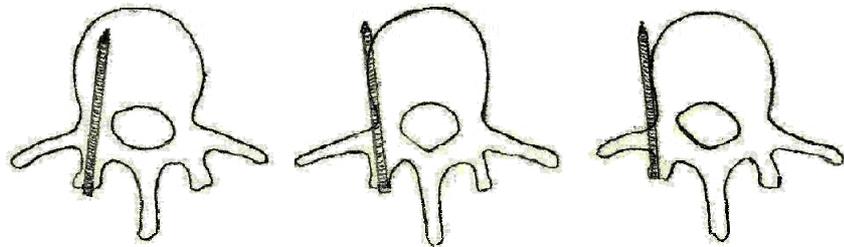
Für den radiologischen Verlauf eignen sich die Parameter, welche im Methodenteil aufgelistet sind. Dazu wären die entsprechenden radiologischen Aufnahmen anzufertigen und auszuwerten. Zusätzlich zu den genannten Parametern wären bei den Nachuntersuchungen die Beurteilung der radiologischen Fusion und ihr Vergleich mit der unmittelbar postoperativen Spannlage wichtig. Bei der Feststellung einer Pseudarthrose ist nach möglichen lokalen und systemischen Ursachen zu suchen [28]. Die Fusion sollte spätestens nach ein bis zwei Jahren radiologisch nachweisbar sein.

6.4.3 Schlussfolgerungen

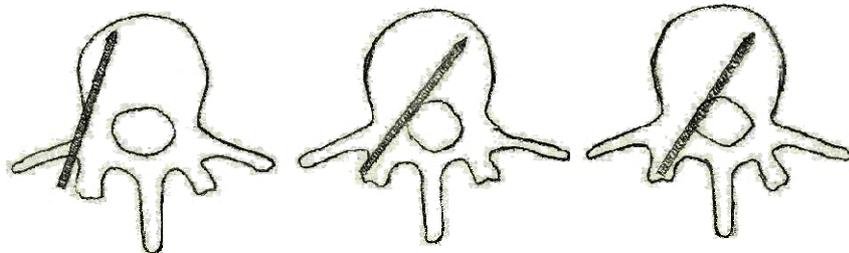
Beide Techniken ermöglichen eine effektive Reduktion und Fixierung durch den verwendeten minimal invasiven Zugang unter Berücksichtigung möglichst kurzstreckiger Fusion zur Rekonstruktion der anterioren Säule. In Abhängigkeit der Verletzung und des Frakturtyps kann in ausgewählten Fällen die monosegmentale Fixierung und Fusion erstrebenswert sein. Die anteriore Fixierung und Fusion mittels minimal invasiver Chirurgie stellt besonders im Hinblick auf Typ A Frakturen eine sinnvolle Möglichkeit dar. Das isoliert ventrale Verfahren kann angestrebt werden, um den stationären Aufenthalt sowie die Operationsdauer, den Blutverlust und die Invasivität (Operationstrauma) zu reduzieren. Mit Ausnahme der Anwendung in der notfallmäßigen Patientenversorgung, sollte das Verfahren stets in Betracht gezogen werden. Zur zügigen Mobilisierung und bei mehrfachverletzten oder polytraumatisierten Patienten sollte weiterhin das dorso-ventrale Verfahren angewendet werden.

7 Anhang

7.1 Klassifikation der Pedikelschraubenlage nach Zdichavsky



Grad	1a	2a	3a
Kriterien der Pedikelschraubenklassifikation	<p>≥ Hälfte PSD im Pedikel und</p> <p>≥ Hälfte PSD im WK</p>	<p>≥ Hälfte PSD im Pedikel und</p> <p>> Hälfte PSD lateral außerhalb des WKs</p>	<p>> Hälfte PSD lateral außerhalb des Pedikels und</p> <p>> Hälfte PSD lateral außerhalb des WKs</p>



Grad	1b	2b	3b
Kriterien der Pedikelschraubenklassifikation	<p>≥ Hälfte PSD lateral außerhalb des Pedikels und</p> <p>> Hälfte PSD im WK</p>	<p>> Hälfte PSD im Pedikel und</p> <p>Pedikelschraubenspitze kreuzt die WK-Mitte</p>	<p>> Hälfte PSD medial außerhalb des Pedikels und</p> <p>Pedikelschraubenspitze kreuzt die WK-Mitte</p>

Abb. 41: Klassifikation der Pedikelschraubenlage nach Zdichavsky Grad 1a bis 3b in „Intraoperative Kontrolle der Pedikelschraubenposition mittels 3-D-Bildwandler (...)“ zitiert nach Beck [2], in schematischer Darstellung bei einem Lendenwirbelkörper. PSD = Pedikelschraubendurchmesser, WK = Wirbelkörper.

7.2 Freier Winkelspielraum von Frakturbacken

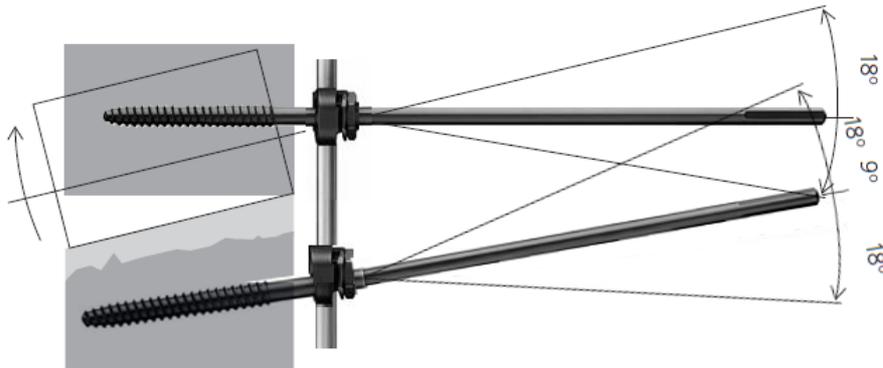


Abb. 42: Freier Winkelspielraum der Frakturbacken bei monosegmentalen Fixierung modifiziert nach Synthes [48].

7.3 Vergleichswerte der Arbeitsgemeinschaft Wirbelsäule der DGU

Tabelle 5: GDW Mittelwerte prä- und postoperativ in Abhängigkeit der Frakturregion, vereinfachte Darstellung aus „Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule“, einer multizentrischen Untersuchung [42].

Wirbelsäulenbereich (n = prä-OP/post-OP)	Winkelmessung GDW	prä-OP GDW	post-OP GDW
BWS (n = 99/92)	monosegmental	-15	-9
	bisegmental	-19	-14
TLÜ (n = 332/314)	monosegmental	-13	-3
	bisegmental	-10	-1
LWS (n = 50/44)	monosegmental	2	7
	bisegmental	13	19

Unabhängig vom Operationsverfahren wurden Korrekturgewinne von im Durchschnitt 8,1° (BWS 5,7° (n = 123), TLÜ 9,3° (n = 472), LWS 5,1° (n = 90)) erreicht. Bei den monosegmentalen GDW wurden Korrekturgewinne von 6° (BWS), 10° (TLÜ) und 5° (LWS) angegeben.

7.4 Vergleichswerte der Kyphosewinkel bei monosegmentaler Frakturversorgung

Tabelle 6: Prä- und postoperative Kyphosewinkel bei monosegmentaler operativer Frakturversorgung aus „Monosegmental fixation for the treatment of fractures of the thoracolumbar spine“ [8].

Verfahren	präoperativer Kyphosewinkel	postoperativer Kyphosewinkel	Langzeitergebnis
Gruppe 1: wie DV (n = 18)	14° (± 10°)	4° (± 7°)	8° (± 8°)
Gruppe 2: wie DV + anteriores Implantat (n = 6)	20° (± 9°)	12° (± 4°)	20° (± 11°)

7.5 Moderne ventrale Implantatgenerationen

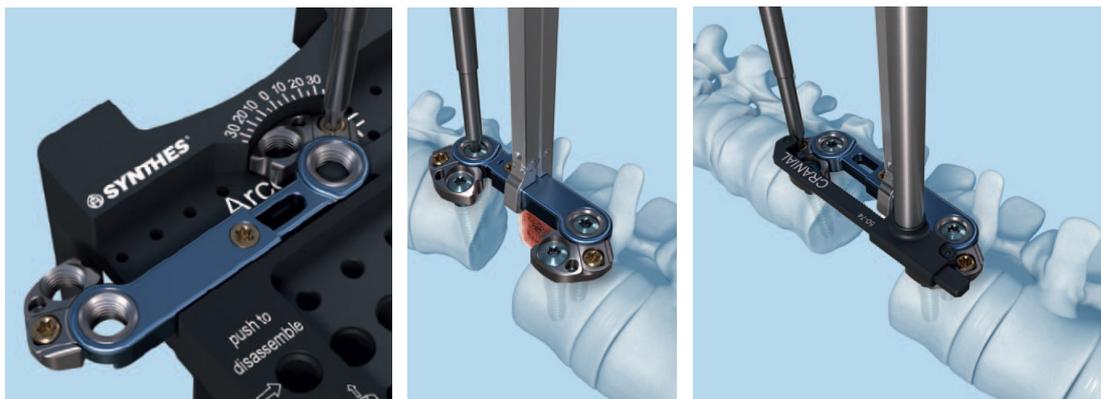


Abb. 43 a)–c): Bissegmentales Anbringen des ArcoFix[®], a) Winkeleinstellung, b) Längeneinstellung am Modell und c) Winkeleinstellung am Modell [50].

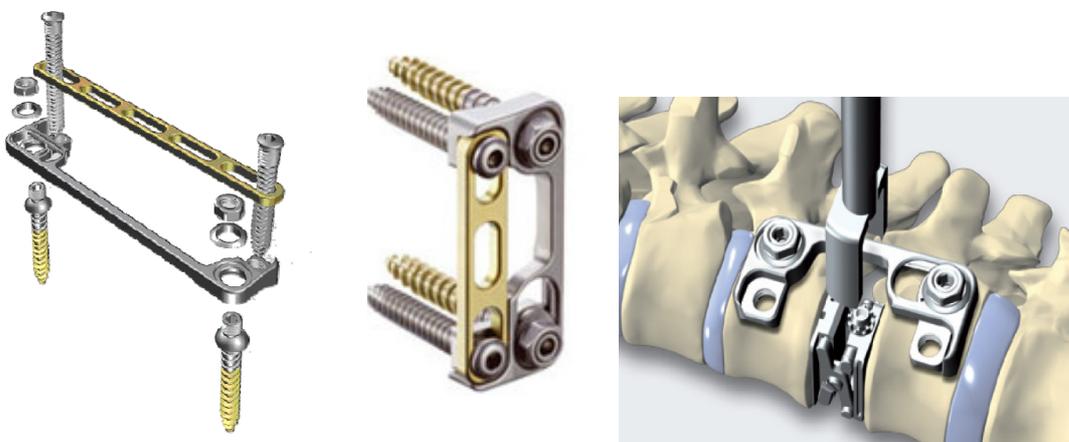


Abb. 44 a)–c): a) GoldenGate[™] Einzelkomponenten, b) zusammengebautes Implantat, c) monosegmentales Anbringen der C-Platte [51].

8 Literaturverzeichnis

- [1] Aligizakis A., Katonis P., Stergiopoulos K., Galanakis I., Karabekios S., Hadjipavlou A., *Functional outcome of burst fractures of the thoracolumbar spine managed non-operatively, with early ambulation, evaluated using the load sharing classification.* Acta Orthop Belg, 2002. **68**:279-287.
- [2] 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.
- [3] Been H.D., Poolman R.W., Ubags L.H., *Clinical outcome and radiographic results after surgical treatment of post-traumatic thoracolumbar kyphosis following simple type A fractures.* Eur Spine J, 2004. **13**:101-107.
- [4] Dai L.Y., Jin W.J., *Interobserver and intraobserver reliability in the load sharing classification of the assessment of thoracolumbar burst fractures.* Spine (Phila Pa 1976), 2005. **30**:354-358.
- [5] Dai L.Y., Jiang L.S., Jiang S.D., *Conservative treatment of thoracolumbar burst fractures: a long-term follow-up results with special reference to the load sharing classification.* Spine (Phila Pa 1976), 2008. **33**:2536-2544.
- [6] Dai L.Y., Ding W.G., Wang X.Y., Jiang L.S., Jiang S.D., Xu H.Z., *Assessment of ligamentous injury in patients with thoracolumbar burst fractures using MRI.* J Trauma, 2009. **66**:1610-1615.
- [7] Dai L.Y., Jiang L.S., Jiang S.D., *Anterior-only stabilization using plating with bone structural autograft versus titanium mesh cages for two- or three-column thoracolumbar burst fractures: a prospective randomized study.* Spine, 2009. **34**:1429-1435.
- [8] Defino H.L., Herrero C.F., Romeiro C.F., *Monosegmental fixation for the treatment of fractures of the thoracolumbar spine.* Indian J Orthop, 2007. **41**:337-345.
- [9] Dick J.C., Brodke D.S., Zdeblick T.A., Bartel B.D., Kunz D.N., Rapoff A.J., *Anterior instrumentation of the thoracolumbar spine. A biomechanical comparison.* Spine (Phila Pa 1976), 1997. **22**:744-750.
- [10] Dick W., Kluger P., Magerl F., Woersdorfer O., Zach G., *A new device for internal fixation of thoracolumbar and lumbar spine fractures: the 'fixateur interne'.* Paraplegia, 1985. **23**:225-232.
- [11] Dick W., *The "fixateur interne" as a versatile implant for spine surgery.* Spine (Phila Pa 1976), 1987. **12**:882-900.
- [12] Disch A.C., Knop C., Schaser K.D., Blauth M., Schmoelz W., *Angular stable anterior plating following thoracolumbar corpectomy reveals superior segmental stability compared to conventional polyaxial plate fixation.* Spine (Phila Pa 1976), 2008. **33**:1429-1437.
- [13] Feil J., Woersdorfer O., *[Complications in surgical management of spinal injuries].* Langenbecks Arch Chir Suppl Kongressbd, 1992:304-310.
- [14] Finkbeiner G.F., Bühren V., Fromm B., Harms J., Simmel S., Hesselschwerdt H.J., *Rehabilitation nach Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule.* AWMF-Leitlinien-Register, 2010. **033/043**.
- [15] Ghanayem A.J., Zdeblick T.A., *Anterior instrumentation in the management of thoracolumbar burst fractures.* Clin Orthop Relat Res, 1997:89-100.
- [16] 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.
- [17] Höfer, *[The anterior angular stable instrumentation of thoracolumbar fractures - outcome].* 2009 (Dissertation).
- [18] Hrabalek L., Wanek T., Adamus M., Langova K., *[Reliability of load-sharing classification in indications for anterior vertebral body replacement in thoracolumbar spine fractures].* Rozhl Chir, 2010. **89**:223-228.

- [19] 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.
- [20] Katonis P., Pasku D., Alpantaki K., Mavrogenis A.F., Korres D.S., Sapkas G.S., Papagelopoulos P.J., *Combination of the AO-Magerl and Load-Sharing Classifications for the Management of Thoracolumbar Burst Fractures*. Orthopedics, 2010:158-163.
- [21] Kirkpatrick J.S., *Thoracolumbar fracture management: anterior approach*. J Am Acad Orthop Surg, 2003. **11**:355-363.
- [22] Knop C., Blauth M., Buhren 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.
- [23] Knop C., Blauth M., Buhren V., Arand M., Egbers H.J., Hax P.M., Nothwang J., Oestern H.J., Pizanis A., Roth R., Weckbach A., Wentzensen A., [Surgical treatment of injuries of the thoracolumbar transition--3: Follow-up examination. Results of a prospective multi-center study by the "Spinal" Study Group of the German Society of Trauma Surgery]. Unfallchirurg, 2001. **104**:583-600.
- [24] 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.
- [25] Kocak T., Cakir B., Reichel H., Mattes T., *Screw loosening after posterior dynamic stabilization--review of the literature*. Acta Chir Orthop Traumatol Cech, 2010. **77**:134-139.
- [26] Kohn D., Pohlemann T., Fritsch E., (2009) *Operationsatlas für die orthopädisch-unfallchirurgische Weiterbildung*, Springer Berlin Heidelberg. 430.
- [27] Kopp R., Beisse R., Weidenhagen R., Piltz S., Hauck S., Becker C.R., Pieske O., Buhren V., Jauch K.W., Lauterjung L., *Strategies for prevention and operative treatment of aortic lesions related to spinal interventions*. Spine (Phila Pa 1976), 2007. **32**:E753-760.
- [28] Kossmann T., Ertel W., Platz A., Trentz O., [Combined surgery for fractures of the thoraco-lumbar junction using the inlay-span method]. Orthopade, 1999. **28**:432-440.
- [29] Kothe R., Panjabi M.M., Liu W., *Multidirectional instability of the thoracic spine due to iatrogenic pedicle injuries during transpedicular fixation. A biomechanical investigation*. Spine (Phila Pa 1976), 1997. **22**:1836-1842.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] Loch A., Winker K.H., *Fractures of the Thoraco-Lumbar Transition with Encroachment of the Spinal Canal under Special Respect to Ventral Spinal Clearance*. Akt Traumatol, 2006. **36**:59-71.
- [34] Magerl F., Aebi M., Gertzbein S.D., Harms J., Nazarian S., *A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries*. Eur Spine J, 1994. **3**:184-201.
- [35] Magerl F.P., *Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation*. Clin Orthop Relat Res, 1984:125-141.
- [36] McCormack T., Karaikovic E., Gaines R.W., *The load sharing classification of spine fractures*. Spine (Phila Pa 1976), 1994. **19**:1741-1744.
- [37] Oda I., Cunningham B.W., Buckley R.A., Goebel M.J., Haggerty C.J., Orbegoso C.M., McAfee P.C., *Does spinal kyphotic deformity influence the biomechanical characteristics of the adjacent motion segments? An in vivo animal model*. Spine (Phila Pa 1976), 1999. **24**:2139-2146.

- [38] Parker J.W., Lane J.R., Karaikovic E.E., Gaines R.W., *Successful short-segment instrumentation and fusion for thoracolumbar spine fractures: a consecutive 41/2-year series*. Spine (Phila Pa 1976), 2000. **25**:1157-1170.
- [39] Ragel B.T., Kan P., Schmidt M.H., *Blood transfusions after thoracoscopic anterior thoracolumbar vertebrectomy*. Acta Neurochir (Wien), 2010. **152**:597-603.
- [40] Reinhold M., Schwieger K., Goldhahn J., Linke B., Knop C., Blauth M., *Influence of screw positioning in a new anterior spine fixator on implant loosening in osteoporotic vertebrae*. Spine (Phila Pa 1976), 2006. **31**:406-413.
- [41] Reinhold M., Knop C., Beisse R., Audige L., Kandziora F., Pizanis A., Pranzl R., Gercek E., Schultheiss M., Weckbach A., Bühren 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.
- [42] Reinhold M., Knop C., Beisse R., Audige L., Kandziora F., Pizanis A., Pranzl R., Gercek E., Schultheiss M., Weckbach A., Bühren 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.
- [43] Rutges J.P., Oner F.C., Leenen L.P., *Timing of thoracic and lumbar fracture fixation in spinal injuries: a systematic review of neurological and clinical outcome*. Eur Spine J, 2007. **16**:579-587.
- [44] Sasso R.C., Best N.M., Reilly T.M., McGuire R.A., Jr., *Anterior-only stabilization of three-column thoracolumbar injuries*. J Spinal Disord Tech, 2005. **18 Suppl**:7-14.
- [45] Sasso R.C., Renkens K., Hanson D., Reilly T., McGuire R.A., Jr., Best N.M., *Unstable thoracolumbar burst fractures: anterior-only versus short-segment posterior fixation*. J Spinal Disord Tech, 2006. **19**:242-248.
- [46] 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.
- [47] Scholl B.M., Theiss S.M., Kirkpatrick J.S., *Short segment fixation of thoracolumbar burst fractures*. Orthopedics, 2006. **29**:703-708.
- [48] Synthes. *USS Fracture System*. [2011-07-01]; Available from: <http://www.synthes.com/MediaBin/International%20DATA/036.000.214.pdf>.
- [49] Synthes. *TeleFix. Implantatsystem zur anterioren Stabilisation der thorakolumbalen Wirbelsäule. Operationstechnik*. [2010/11/13]; Available from: http://www.synthes.com.au/html/fileadmin/Shared/shop/CH_Marketing/Promo/Printed_Materials/Spine/016.000.369.pdf.
- [50] Synthes. *Arcofix. Anterior-only reduction plate*. [2011/06/27]; Available from: <http://www.synthes.com/MediaBin/International%20DATA/036.000.545.pdf>.
- [51] Ulrich. *Golden Gate. anterior plate system*. [2011/06/27]; Available from: http://www.smarthospital.it/pdf/goldengate_F_dt_engl_Rev0.pdf.
- [52] Verheyden A.P., Holzl A., Ekkerlein H., Gercek E., Hauck S., Josten C., Kandziora F., Katscher S., Knop C., Lehmann W., Meffert R., Müller 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.
- [53] Wang X.Y., Dai L.Y., Xu H.Z., Chi Y.L., *The load-sharing classification of thoracolumbar fractures: an in vitro biomechanical validation*. Spine (Phila Pa 1976), 2007. **32**:1214-1219.
- [54] Watanabe K., Yamazaki A., Hirano T., Izumi T., Sano A., Morita O., Kikuchi R., Ito T., *Descending aortic injury by a thoracic pedicle screw during posterior reconstructive surgery: a case report*. Spine (Phila Pa 1976), 2010. **35**:E1064-1068.
- [55] Whang P.G., Vaccaro A.R., *Thoracolumbar fracture: posterior instrumentation using distraction and ligamentotaxis reduction*. J Am Acad Orthop Surg, 2007. **15**:695-701.
- [56] Wood K.B., Bohn D., Mehbod A., *Anterior versus posterior treatment of stable thoracolumbar burst fractures without neurologic deficit: a prospective, randomized study*. J Spinal Disord Tech, 2005. **18 Suppl**:15-23.

- [57] Xu J.G., Zeng B.F., Zhou W., Kong W.Q., Fu Y.S., Zhao B.Z., Zhang T., Lian X.F., *Anterior Z-Plate and Titanic Mesh Fixation for Acute Burst Thoracolumbar Fracture*. Spine (Phila Pa 1976), 2011.
- [58] Zdeblick T.A., Sasso R.C., Vaccaro A.R., Chapman J.R., Harris M.B., *Surgical treatment of thoracolumbar fractures*. Instr Course Lect, 2009. **58**:639-644.
- [59] Zdichavsky M., Blauth M., Knop C., Graessner M., Herrmann H., Krettek C., Bastian L., *Accuracy of Pedicle Screw Placement in Thoracic Spine Fractures*. European Journal of Trauma, 2004. **30**:234-240.

9 Dank/Publicationen

Danken möchte ich Herrn Professor Pohlemann, der als Direktor der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikum des Saarlandes diese Arbeit ermöglichte.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Doktor Pizanis für die Überlassung des Themas und die hervorragende Betreuung.

Vorträge

- *Monosegmental anterior column reconstruction and fusion in incomplete burst fractures of the spine: early results of anterior vs. combined operative techniques*
(A. Pizanis, B. Reischmann, S. Esch, T. Pohlemann)
12th European Congress of Trauma & Emergency Surgery (ECTES), April 2011
- *Minimal invasive und endoskopische monosegmentale Stabilisierung von Berstungsfrakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule*
(A. Pizanis, S. Esch, B. Reischmann, T. Pohlemann)
Wissenschaftliche Jahrestagung 2012 der Saarländischen Chirurgenvereinigung e. V.

