
Aus dem Bereich

Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie der Medizinischen Fakultät der
Universität des Saarlandes, Homburg/Saar

Direktor: Prof. Dr. med. Tim Pohlemann

Vergleich zweier Fixateur interne Stabilisierungsmethoden von dorsal bei Frakturen von BWK 10 bis LWK 3: offene versus minimalinvasive Instrumentierung

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

der Medizinischen Fakultät

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2022

vorgelegt von: Vakhtang Pirpilashvili

geboren am: 23.10.1984 in Tbilisi, Georgien

Tag der Promotionsprüfung: 01.12.2022

Dekan: Prof. Dr. M. Menger

Berichterstatter: PD Dr. A. Pizanis

Prof. Dr. S. Landgraeber

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	<i>Abbildung</i>
a.-p.	<i>anterior-posterior</i>
AO	<i>Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese</i>
bi	<i>bisegmental</i>
biGDW	<i>bisegmentaler Grund-Deckplatten-Winkel</i>
biseg.	<i>bisegmental</i>
BWS	<i>Brustwirbelsäule</i>
BWK	<i>Brustwirbelkörper</i>
bzw.	<i>beziehungsweise</i>
ca.	<i>circa, zirka</i>
COPD	<i>Chronic Obstructive Pulmonary Disease (chronische obstruktive Lungenerkrankung)</i>
CT	<i>Computertomographie</i>
d. h.	<i>das heißt</i>
Eb.	<i>Ebene</i>
et al.	<i>et alii (und andere)</i>
GDW	<i>Grund-Deckplatten-Winkel</i>
KHK	<i>Koronare Herzkrankheit</i>
KW	<i>Körperwinkel</i>
L	<i>Lendenwirbel</i>
LO	<i>links oben</i>
LU	<i>links unten</i>
LWS	<i>Lendenwirbelsäule</i>
LWK	<i>Lendenwirbelkörper</i>
MIS	<i>minimally invasive surgery (minimalinvasive Chirurgie)</i>
min.	<i>Minute</i>
ml	<i>Milliliter</i>
M. L.	<i>Musculus longissimus</i>
mm	<i>Millimeter</i>
M. M.	<i>Musculus multifidus</i>
o. g.	<i>oben genannt</i>

OP	<i>Operation</i>
OP-Zeit	<i>Operationszeit, Operationsdauer</i>
PACS	<i>Picture Archiving and Communication System</i>
PSD	<i>Pedikelschraubendurchmesser</i>
präop.	<i>präoperativ</i>
postop.	<i>postoperativ</i>
RO	<i>rechts oben</i>
R. P.	<i>Ramus posterior</i>
RU	<i>rechts unten</i>
s.	<i>siehe</i>
SD	<i>Standardabweichung</i>
seitl.	<i>seitlich</i>
s. o.	<i>siehe oben</i>
stat.	<i>stationär</i>
s. u.	<i>siehe unten</i>
Th	<i>Thorakalwirbel</i>
UKS	<i>Universitätsklinikum des Saarlandes</i>
WK	<i>Wirbelkörper</i>
z. B.	<i>zum Beispiel</i>
Z. n.	<i>Zustand nach</i>

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	8
2. Summary	10
3. Einleitung und Grundlagen	12
Operationsindikation für die dorsale bisegmentale Stabilsierung	13
Vergleich der offenen und minimalinvasiven Stabilisierungsverfahren	15
Operationstechnische Besonderheiten	16
4. Fragestellung	17
5. Patienten und Methoden	18
5.1 Studiendesign und Gruppendifinition	18
5.1.1 Kriterien für Frühergebnisse	18
5.1.2 Einschlusskriterien	19
5.1.3 Ausschlusskriterien	19
5.2 Operationen	19
5.2.1 Die Operationsmethode der offenen dorsalen, bisegmentalen Stabilisierung	20
5.2.1.1 Lagerung, Präparation des Zuganges und Schraubenplatzierung	21
5.2.1.2 Reposition	25
5.2.2 Die Operationsmethode der minimalinvasiven dorsalen, bisegmentalen Stabilisierung	27
5.2.2.1 Lagerung, Präparation des Zuganges und Schraubenplatzierung	27
5.2.2.2 Reposition	29
5.2.3 Postoperative Nachbehandlung	31
5.3 Datenerhebung	32

5.3.1 Allgemeine, Aufnahme- und Patientendaten.....	32
5.3.2 Operations-assoziierte klinische Daten.....	33
5.3.3 Radiologische Daten.....	33
5.3.3.1 Präoperative Daten – Röntgenbilder und CT-aufnahmen nach dem Unfall.....	33
5.3.3.2 Radiologische Parameter erhoben prä-, intra- und postoperativ.....	34
5.3.3.3 Postoperative radiologische Daten ausgewertet anhand postoperativer Röntgen- und CT-Bilder.....	37
5.3.4 Statistische Auswertung.....	40
6. Ergebnisse.....	42
6.1 Ergebnisse allgemeiner Patientendaten.....	42
6.1.1 Eigenschaften der Patientengruppen.....	42
6.1.2 Frakturhöhe.....	42
6.1.3 Frakturklassifikation.....	43
6.1.4 Begleitverletzungen.....	45
6.1.5 Begleiterkrankungen.....	47
6.2 Ergebnisse Operations-assoziiertes klinischer Daten.....	48
6.2.1 Versorgungszeiten und stationäre Aufenthalt.....	48
6.2.2 Neurologische Ausfälle.....	49
6.2.3 Komplikationen.....	50
6.3 Aufschlüsselung der perioperativen Daten.....	50
6.3.1 Zugangsverfahren.....	50
6.3.2 Operationsdauer.....	51
6.3.3 Blutverlust.....	51
6.4 Ergebnisse der radiologischen Repositions- und Instrumentierungsanalyse.....	53
6.4.1 Bisegmentaler GDW (Cobb-Winkel).....	53
6.4.2 Körperwinkel und relative Wirbelkörperhöhe.....	59
6.4.3 Spinalkanalweite.....	61
6.4.4 Lage der Fixateur-Schrauben.....	62
6.4.5 Abstand der Implantatbacken zum Knochen.....	62
6.4.6 Leckage.....	64
7. Diskussion.....	66
7.1 Diskussion der Ergebnisse allgemeiner und Operations-assoziiertes klinischer Patientendaten.....	67

7.1.1 Stationäre Aufenthalt.....	67
7.1.2 Operationsdauer.....	68
7.1.3 Blutverlust.....	69
7.2 Diskussion der Ergebnisse radiologischer Repositions- und Instrumentierungsanalysen.....	71
7.2.1 Bisegmentaler Grunddeckplattenwinkel (biGDW).....	71
7.2.2 Einfluss der Lagerung hinsichtlich des Repositionserfolges.....	73
7.2.3 Körperwinkel und relative Wirbelkörperhöhe.....	74
7.2.4 Spinalkanalweite.....	76
7.2.5 Platzierung der Pedikel-Schrauben.....	76
7.2.6 Backen-Knochen-Abstand.....	77
7.3 Schlussfolgerung.....	79
8. Literaturverzeichnis.....	80
9. Danksagung.....	92
10. Lebenslauf.....	93
11. Abbildungsverzeichnis.....	95
12. Tabellenverzeichnis.....	97

1. Zusammenfassung

EINLEITUNG:

Bei Verletzungen der Wirbelsäule, bei denen überwiegend der thorakolumbale Übergang betroffen ist, bleibt die dorsale Stabilisierung das Verfahren der ersten Wahl, besonders in der Akutsituation. Neben dem klassischen, offenen Verfahren wurde in den letzten Jahren die perkutane dorsale Stabilisierung zunehmend als minimal invasive Alternative eingesetzt. Ziel dieser Studie ist der Vergleich der Vor- und Nachteile beider Verfahren, der Unterschiede sowie der Frühergebnisse postoperativ.

MATERIAL UND METHODEN:

Von Januar 2011 bis Dezember 2015 wurden in der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum des Saarlandes / Homburg Saar 660 Eingriffe bei Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule durchgeführt. Davon wurden insgesamt 60 Patienten mit durchgeführter dorsaler Stabilisierung der thorakolumbalen Übergangsverletzungen nach definierten Einschlusskriterien selektiert. Basierend auf der verwendeten Technik der Fixateur interne Stabilisierung mit gleichen Implantaten in der konventionellen oder MIS-Form wurden 2 Gruppen verglichen:

- dorsale bisegmentale Stabilisierung durch einen klassisch offenen Zugang (Gruppe OFFEN) mit 30 Patienten
- dorsale bisegmentale Stabilisierung durch minimalinvasiven perkutanen Zugang (Gruppe MIS) mit 30 Patienten.

Die beiden Gruppen wurden retrospektiv anhand klinischer Daten und radiologischer Parameter verglichen.

ERGEBNISSE:

Die behandelten Frakturen, überwiegend Berstungsfrakturen vom Typ A3.1 bis A3.2 gemäß der AO-Klassifikation, betrafen Brustwirbelkörper (BWK) 10 bis Lendenwirbelkörper (LWK) 3. 2 der insgesamt 30 Frakturen in der Gruppe OFFEN sowie 7 der 30 Frakturen in der MIS-

Gruppe waren Typ-B Frakturen gemäß AO-Klassifikation. Der bisegmentale Grunddeckplattenwinkel (biGDW, Cobb-Winkel) in sagittaler und koronarer Ebene sowie der Körperwinkel (KW) und die relative ventrale Wirbelkörperhöhe zeigten postoperativ eine signifikante Reduktion der präoperativen Fehlstellung. Das Korrektorausmaß postoperativ unterschied sich nicht signifikant im Vergleich der Gruppe OFFEN zur Gruppe MIS. Spinalkanalverengungen wurden mit beiden Methoden effektiv reduziert. Die postoperative Schraubenlage wurde nach Zdichavsky klassifiziert, wobei sich kein Unterschied zwischen beiden Gruppen ergab.

In der offenen Gruppe erfolgte bei 23 von 30 Patienten eine Augmentation der Schrauben mit Zement und die Kyphoplastie des gebrochenen Wirbelkörpers. Lediglich bei einem zeigte sich eine Zementleckage an den Schrauben paravertebral. In der Gruppe MIS erfolgte bei 24 von 30 Patienten eine Augmentation der Schrauben mit Zement und Kyphoplastie. Hierbei zeigte sich in 6 Fällen eine minimale Leckage an den Schrauben paravertebral. In beiden Gruppen wurde ein Systembacken-Knochen-Abstand gemessen, wobei sich in der Gruppe MIS ein deutlich größerer Abstand der Backen vom Knochen als in der offenen Gruppe zeigte. Im Vergleich beider Gruppen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede der OP-Zeiten und der stationären Aufenthaltsdauer. Der intraoperative Blutverlust war in der MIS-Gruppe deutlich geringer als in der Gruppe OFFEN.

SCHLUSSFOLGERUNG:

In beiden untersuchten Gruppen zeigte sich postoperativ eine signifikante Korrektur der präoperativen Fehlstellungen. Für die minimalinvasive dorsale Stabilisierung mittels Fixateur interne konnten keinerlei Nachteile, insbesondere in Hinblick auf die Repositionsmöglichkeiten im Vergleich zur klassischen offenen, bisegmentalen Technik gefunden werden.

2. Summary

INTRODUCTION:

For unstable fractures of the spine which are predominant in the thoracolumbar regions, the posterior stabilization by internal fixator remains the method of choice, especially in the acute situation. In addition to the classic, open procedure, percutaneous dorsal stabilization has been increasingly used in the last years as the minimal invasive alternative. This study is based on the early results, advantages and disadvantages as well as differences of the two procedures.

MATERIAL AND METHODS:

From January 2011 to December 2015, 660 operations due to fractures of the thoracic and lumbar spine were performed in the Department for Trauma, Hand and Reconstructive Surgery at the Saarland University Hospital / Homburg Saar. Of these, a total of 60 procedures with dorsal stabilization of the thoracolumbar transition injuries were selected according to defined entry criteria. Based on the surgical technique of stabilizing with an internal fixator and the 2 implant variants, conventional or MIS, 2 groups were compared:

- Dorsal bisegmental stabilization through a classic open approach (OPEN group) with 30 patients
- With dorsal bisegmental stabilization through minimally invasive, percutaneous access (MIS group) with 30 patients.

The two groups were compared retrospectively on the base of clinical data and radiological parameters.

RESULTS:

The treated fractures ranged from Th10 to L3 along the spine. According to the AO classification, bursting fractures of type A3.1 to A3.2 were predominant. The type B fractures were 2 of 30 fractures in the OPEN group and 7 of 30 fractures in the MIS group. The bisegmental angle in sagittal and coronal planes, as well as vertebral body wedge and

2. Summary

relative ventral height showed a significant correction of deformity postoperatively. The amount of correction postoperatively did not differ significantly from the OPEN and MIS groups. Spinal canal narrowing was reduced effectively with both methods. The screw position in both groups was classified according to Zdichavsky and there were no differences in positioning. In 23 of 30 patients of the group OPEN augmentation of the screws with cement or kyphoplasty of the fractured vertebral body was performed. There was only one case of leakage from the screws in the paravertebral area. In the group MIS, 24 out of 30 patients received screw augmentation with cement and kyphoplasty of the fractured vertebral body. In 6 cases there was minimal paravertebral leakage from the screws. The implant-clamp to bone distance was measured in both groups. In the MIS group, there was a significantly greater distance between the clamps and the bone than in the OPEN group. There were no significant differences in operation time and inpatient length of stay in either group. The intraoperative blood loss was significantly lower in the MIS than in the OPEN group.

CONCLUSION:

In both groups, there was a significant postoperative correction of the preoperative findings. Performing the surgery percutaneously with the similar implant type did not induce more difficulties nor differences in reduction of the axis or spinal canal clearance. Transpedicular screw placement quality did not differ in the 2 settings by open conventional or wire-guided percutaneous method. However, under MIS conditions an increased implant to bone distance can occur with possibilities of mechanical or irritation consequences. No serious disadvantages could be detected for minimally invasive dorsal stabilization with an internal fixator, especially for the reduction options, compared to the classic open, bisegmental technique.

3. Einleitung und Grundlagen

Brüche der Wirbelkörper werden durch direkte oder indirekte Gewalteinwirkung verursacht, wobei zwischen Stauchungs-, Flexions-, Extensions- und Rotationstraumata sowie deren Kombination unterschieden werden [100]. Hauptursache für die Verletzungen der Wirbelsäule sind Hochrasanz-Sportarten, der Sturz aus großer Höhe, sowie Verkehrs- oder Arbeitsunfälle.

Beim älteren Patienten können Bagatellereignisse, wie zum Beispiel banale Stürze in Bodennähe zur versorgungspflichtigen Verletzung führen.

Über 2/3 der Wirbelsäulenverletzungen kommen im Bereich des thorakolumbalen Übergangs von BWK 10 bis LWK 2 vor [28,102]. Die besondere Anfälligkeit für Verletzungen in diesem Bereich ergibt sich aus dem Übergang von der stabileren Kyphose der Brustwirbelsäule zur freistehenden Lordose der Lendenwirbelsäule [36].

Im 19. Jahrhundert bestanden die Operationen an der Wirbelsäule lediglich aus den Entfernungen von Knochensplintern oder Fremdkörpern, wie z. B. Pistolen- und Gewehrkugeln. Anfang des 20. Jahrhunderts bestand die Hauptbehandlungsmethode der Wirbelsäulenverletzungen in der konservativen Therapie. L. Böller versuchte durch spezielle Lagerung in Traktion und Lordosierung beziehungsweise Kyphosierung sowie mit Gipsverbänden über mehrere Wochen eine entsprechende Einrichtung und Korrektur der Fehlstellung zu erreichen. Erst in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts entwickelten sich die operativen Stabilisierungstechniken an der Wirbelsäule [92]. Die Erstbeschreibung der Platzierung von Pedikelschrauben erfolgte Anfang der 60er durch R. Camille. Mitte der 70er Jahre verwendete F. Magerl Schanz-Schrauben und einen Fixateur externe zur Versorgung von thorakalen, thorakolumbalen und lumbalen Verletzungen der Wirbelsäule [70, 92, 117]. In den 70er und 80er Jahren wurde sie von Dick und Kluger zum Fixateur interne weiterentwickelt [23]. Im weiteren Verlauf wurden interne Systeme zwar weit verbreitet, allerdings verhältnismässig spät zur perkutanen Einbringung entwickelt. Die Erstbeschreibung, im Rahmen einer dorsalen Fusion bei der degenerativen Wirbelsäulen Chirurgie, erfolgte durch Foley et al. im Jahre 2002 [32]. Im deutschsprachigen Raum wurde erst im Jahre 2006 von Grass et al. die Anwendung der perkutanen Einbringung von Schanz-Schrauben bei Frakturen im thorakolumbalen Übergangsbereich beschrieben [38].

Die vorliegende Dissertation vergleicht 2 operative Behandlungsverfahren der traumatischen instabilen Berstungsfrakturen am Übergangsbereich der Brust- und Lendenwirbelsäule von

BWK 10 bis LWK 3. In der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikums des Saarlandes / Homburg Saar, wurden von 2011 bis 2015 60 Patienten mit Berstungsfrakturen am BWS-/LWS-Übergang mittels bisegmentalen Fixateur interne eines Typs dorsal stabilisiert. Eine Gruppe der Patienten wurde durch offenes Behandlungsverfahren, die andere Gruppe durch minimalinvasives Verfahren operativ versorgt.

Operationsindikation für die dorsale bisegmentale Stabilisierung

Die Mehrheit der Frakturen am Übergang der Brust- zur Lendenwirbelsäule, wie beispielsweise Frakturen ohne oder mit minimaler Fehlstellung, werden konservativ behandelt. Zu diesen Frakturen gehören die Typen A1.1, A1.2, A1.3 sowie A2.1 und A2.2 nach der AO-Klassifikation. In die Therapieentscheidung muss mit einbezogen werden, dass sich unter konservativer Therapie eine Zunahme des Grund-Deckplatten-Winkels von mindestens 10° zeigt und es bereits bei einer initialen Fehlstellung von 20° zu ungünstigen funktionellen Resultaten und einer Gelenkinkongruenz der kleinen Wirbelzwischenjungen kommen kann [95]. Die bei Kyphosefehlstellung über 30° entstehenden Gelenkinkongruenzen sind meistens mit späteren Facettengelenksarthrosen und Fibrosen, sowie aufgrund der nachfolgenden Fehlbelastung der Rückenmuskulatur mit Rückenschmerzen verbunden [77].

Nach den Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft Wirbelsäule der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie sollten Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule mit Fehlstellungen von über 20° in der seitlichen sowie 10° in der a.-p. Ebene operativ versorgt werden. Als operationsbedürftig werden auch die Verletzungen mit einem Körperwinkel über 20° oder mit der Sinterung von mehr als $1/3$ der Wirbelkörperhöhe sowie eine Einengung des Spinalkanals durch knöcherne Fragmente oder Protrusion der Wirbelkörper-Hinterkante angesehen (s. Abb. 1).



Abbildung 1: BWK 12-Fraktur mit 25° sagittaler und 3° a.-p. GDW, sowie mit 23° KW, Wirbelkörperzerstörung > 2/3 und deutlicher Einengung des Spinalkanals.

Weitere Kriterien zur Therapieentscheidung sind nachgewiesene neurologische Defizite, Wirbelsäulenverletzungen mit Begleitverletzungen oder therapierefraktäre Schmerzen bei konservativem Vorgehen [62,112]. Alle A2.3- und A3- sowie alle B- und C-Verletzungen nach AO-Klassifikation sollten dorsoventral stabilisiert werden.

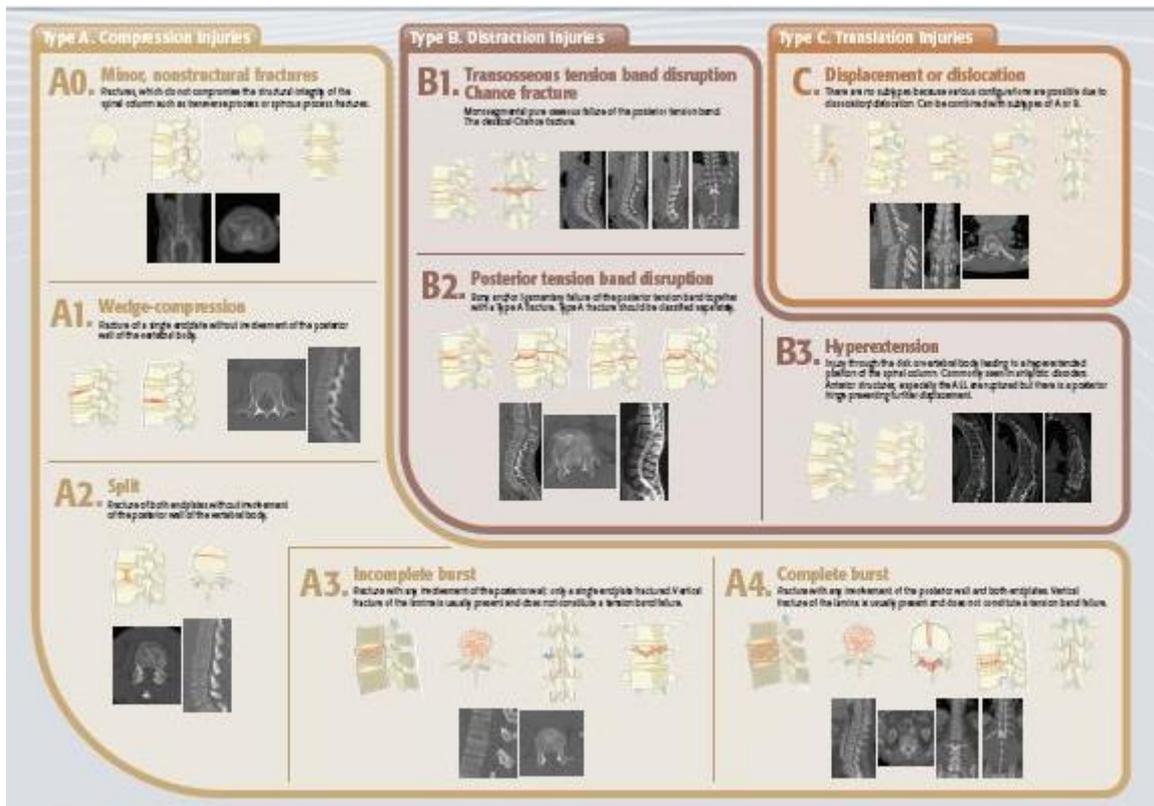


Abbildung 2: AO-Klassifikation der thorakolumbalen Frakturen der Wirbelsäule (www.aospine.org/classification)

Vergleich der offenen und minimalinvasiven Stabilisierungsverfahren

Im Falle der operativen Behandlung einer Wirbelkörperfraktur muss die Entscheidung zwischen einer offenen oder minimalinvasiven dorsalen Stabilisierung getroffen werden. In beiden Verfahren werden die Schrauben transpedikulär in den intakten Wirbelkörpern oberhalb und unterhalb der Fraktur implantiert und über ein Stabsystem verbunden. Dadurch werden 2 Segmente als bisegmentale Fixation überbrückt. Hierbei entspricht ein Segment zwei Wirbelkörpern mit der dazwischen-liegenden Bandscheibe.

Die dorsale Stabilisierung stellt nach wie vor das Standardverfahren dar und durch die langen Hebelarme ermöglicht sie unter Extension die Reposition im Sinne der Lordosierung, wie auch die Wiederherstellung der Wirbelkörper-Höhe durch die entsprechende Distraction. Im Vergleich zum offenen Verfahren bietet die minimalinvasive dorsale Stabilisierung gemäß vorangegangener Studien mehrere Vorteile, wie einen deutlich geringeren Gewebeschaden, eine reduzierte Operationsdauer, weniger Blutverlust und eine reduzierte postoperative Morbidität.

Die Schwierigkeiten des minimalinvasiven Verfahrens bestehen in den eingeschränkten Repositions- und Distractionsmöglichkeiten sowie während des Einbringens des Längsträgers. Zum Vergleich der beiden Verfahren siehe Tabelle 1.

	Vorteile	Nachteile
Offen	<ul style="list-style-type: none"> • Einfache Reposition • Indirekte Reposition der Wirbelkörper-Hinterkante durch Distaktionsmanöver 	<ul style="list-style-type: none"> • Höherer Gewebeschaden • Erhöhter Blutverlust • Längere Operationszeit • Erhöhte postoperative Morbidität durch Muskelablösung • Längere stationäre Aufenthaltsdauer
Minimal-invasiv	<ul style="list-style-type: none"> • Geringere Invasivität • Geringere Blutverlust • Geringere Operationszeit • Reduzierte postoperative Morbidität wegen percutanen Zugang • Reduzierte stat. Aufenthaltsdauer 	<ul style="list-style-type: none"> • Erschwerte Reposition wegen Weichteilreposition und Abstand zur Wirbelsäule • Erschwerte Schraubenpositionierung wegen fehlenden Landmarken und taktilem Feedback

Tabelle 1: Vorteile und Nachteile des offenen Verfahrens gegenüber dem minimalinvasiven Verfahren.

Im letzten Jahrzehnt erschienen zahlreiche Instrumente für perkutane Eingriffe, womit die oben genannten Schwierigkeiten beherrscht werden können.

Operationstechnische Besonderheiten

Bei der offenen sowie perkutanen Stabilisierungstechnik wird die Reposition durch Lordosierung und Distraction erreicht, wodurch auch eine indirekte Hinterkantenreposition und Entlastung des Spinalkanals erfolgt. Die operationstechnische Schwierigkeit, besonders beim perkutanen Verfahren besteht in der eingeschränkten Repositionskapazität durch die Weichteildeckung (Haut-/Muskelquetschung) sowie dem Risiko einer iatrogenen Wirbelkörper- und Pedikelbeschädigung ohne Sicht. Darüber hinaus besteht die Besonderheit in der perkutanen Einbringung des Längsträgers sowie der möglichst knochennahen Fixierung der Backen, einerseits um die ungünstigen Hebelkräfte gering zu halten, andererseits um die Irritationen der Weichteile, v.a. der autochtonen Rückenmuskulatur zu vermindern.

4. Fragestellung

Die vorliegende retrospektive Arbeit untersucht das Frühergebnis der offenen operativen Versorgung im Vergleich zur minimalinvasiven von traumatischen Frakturen des BWS-/LWS-Überganges. Sinn dieser Dissertation ist es, die eine Entscheidungshilfe für die klinische Praxis zu bieten hinsichtlich für und wieder des offenen oder percutanen Verfahrens sowie etwaige bedenken hinsichtlich der Repositionsmöglichkeiten und Implantatlagen zu klären, hierbei gilt es die Repositionsergebnisse zwischen der offenen und der minimalinvasiven dorsalen Stabilisierung thorakolumbalen Übergangsfraктuren zu untersuchen und hinsichtlich postoperativer Komplikationen miteinander zu vergleichen. Folgende Hypothesen überprüft werden:

- Die perkutane dorsale, bisegmentale Stabilisierung der Frakturen am thorakolumbalen Übergangsbereich zeigt gleiche Repositionsergebnisse der bisegmentalen GDW im seitl. und a.-p. Profil im Vergleich zur offenen Fixateur interne Stabilisierung (Lordosierungseffekt).
- Das minimalinvasive Verfahren zeigt keinen Unterschied in den radiologischen Auswertungen des KWs, sowie in der Wiederherstellung der Wirbelkörper-Höhe und Entlastung des Spinalkanals durch die Reposition der Wirbelkörper-Hinterkante im Vergleich zum offenen Verfahren (Distractionseffekt und Ligamentotaxis).
- Die Qualität der transpedikulären Schraubenlage ist in beiden Verfahren gleich (Implantatlage).
- Der Knochen-Backen-Abstand ist durch die percutane Technik aufgrund der interponierenden Weichteile deutlich größer als durch die offene dorsale Stabilisierung (Implantatlage).
- Der intraoperative Blutverlust ist beim minimalinvasiven Verfahren geringer.

5. Patienten und Methoden

5.1 Studiendesign und Gruppendifinition

Von 2011 bis 2015 wurden in der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikums des Saarlandes ca. 660 Patienten mit traumatisch bedingten Frakturen an der Wirbelsäule operativ therapiert. In diesem 5-jährigen Zeitraum wurden retrospektiv 60 Patienten mit frischen Verletzungen (<3 Wo.) zwischen BWK 10 bis einschließlich LWK 3 ermittelt und in die Studie eingeschlossen. Hierbei handelte es sich um Verletzungen, die isoliert mit einem bisegmentalen Fixateur interne dorsal durch offene oder Percutane Technik stabilisiert wurden. Es wurden 2 Gruppen, je nach der verwendeten Technik verglichen.

Nicht eingeschlossen wurden Frakturen der übrigen Wirbelkörper an BWS und untere LWS, ältere Frakturen oder Korrekturspondylodesen, mehrsegmentale Fixationen > 2 Segmente und höhergradige Spinalkanaleinengungen durch Fragmente mit Indikation zur offenen Revision. Durch die Einschlusskriterien wird eine größtmögliche Vergleichbarkeit der Gruppen angestrebt.

- Dorsale, bisegmentale Stabilisierung durch offene Technik mit 30 Patienten (OFFEN, n=30)
- und dorsale, bisegmentale Stabilisierung durch minimalinvasive, perkutane Technik mit 30 Patienten (MIS, n=30).

Zum Vergleich beider Gruppen wurden klinische Daten aus Patientenakten sowie die radiologischen Parameter aus Röntgen- und CT-Aufnahmen herangezogen.

5.1.1. Kriterien für Frühergebnisse

Der Schwerpunkt der Studie lag auf der Analyse der operativen Technik und der frühen postoperativen Behandlungsergebnisse beider Methoden. Entsprechend basiert die Datenerhebung auf den Zeitraum des stationären Aufenthalts zur Behandlung der Wirbelverletzung. Nachuntersuchungen waren zur Beantwortung der Fragestellung primär nicht erforderlich, Langzeitergebnisse im Rahmen von späteren Nachuntersuchungen entsprechend nicht ermittelt.

5.1.2. Einschlusskriterien

- Frische, traumainduzierte Wirbelsäulenverletzungen von BWK 10 bis einschließlich LWK 3 (Operation bis einschließlich 21. Tag posttraumatisch)
- Einsatz eines Fixateurs interne Systems des gleichen Typs „USS Fraktur®“, Synthes Freiburg, über eine Strecke zwei Bewegungssegmenten der Wirbelsäule.
- Frakturen ab dem Typ A2.2 bis einschließlich Typ B nach AO-Klassifikation.
- Volljährigkeit

5.1.3 Ausschlusskriterien

- Ältere Frakturen (> 3 Wochen), pathologische Frakturen, Korrekturspondylodesen.
- Die übrige BWS- und untere LWS-Frakturen
- Mehrsegmentale (> 2 Segmente) oder monosegmentale Fixation
- Höhergradige Spinalkanaleinengungen durch Fragmente mit neurologischen Ausfällen
- Typ C-Frakturen nach AO-Klassifikation
- Minderjährigkeit
- relevante, einschränkende Begleiterkrankungen.

5.2 Operationstechniken

Es wurden 2 vergleichbare Patientengruppen anhand der o. g. Ein- und Ausschlusskriterien rekrutiert. In dieser Studie wurden folgende Versorgungsverfahren unterschieden:

- Isoliert dorsale, bisegmentale Stabilisierung mit Fixateur interne durch offene Technik und
- isoliert dorsale, bisegmentale Stabilisierung mit Fixateur interne durch minimalinvasive Technik.

Der Fixateur interne ist ein posteriores Pedikelschrauben-Fixationssystem zur genauen, segmentalen Stabilisation der thorakolumbalen Wirbelsäule bei Patienten mit

ausgewachsenem Skelett. Der Anwendungsbereich bei Patienten mit Traumata oder Tumorerkrankungen liegt normalerweise am thorakolumbalen Übergang. Das Fixateur interne Implantat ist für die konventionell offene Methode seit Jahrzehnten international im klinischen Einsatz, die letzte Version wurde für den percutanen Einsatz sowohl am Implantat selbst als auch an den Instrumenten dafür leicht abgeändert (s. Abb. 3).

Beide Eingriffe erfolgten in Bauchlage.



Abbildung 3: Fixateur interne, USS Fracture® (www.depuysynthes.com/ifu)

5.2.1 Die Operationsmethode der offenen dorsalen, bisegmentalen Stabilisierung.

Die Operationsmethode der thorakolumbalen Frakturen der Wirbelsäule durch offene Stabilisierung mit einem bisegmentalen Fixateur interne System basiert auf einer Kombination aus Schanz-Schrauben und einem winkelstabilen Backensystem und besteht entsprechend aus 2 stabähnlichen Längsträgern, welche mit transpedikulär eingeführten Schanz-Schrauben winkelstabil über die Frakturbacken verbunden werden. Das verwendete Implantat beruht auf dem Fixateur interne System nach Dick [23, 25]. Das Implantat kann bei instabilen deformierten Frakturen im Bereich der thorakalen, thorakolumbalen, lumbalen und

lumbosakralen Wirbelsäule mono-, bi- und multisegmental eingebracht werden. Das System wird auch bei Infektionen, Tumoren, posttraumatischen Deformierungen der Wirbelsäule sowie bei der Spondylolisthesis verwendet. Diskoligamentäre Risse und vorangegangene Laminektomien stellen hier keine Kontraindikation dar, sind jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Da der Schanz-Schraubendurchmesser mindestens 5 mm beträgt, und ab der BWK 6 die Pedikelgröße nach oben geringer wird, wird die Indikation oberhalb dieser Höhe strenger gestellt.

5.2.1.1 Lagerung, Präparation des Zuganges und Schraubenplatzierung

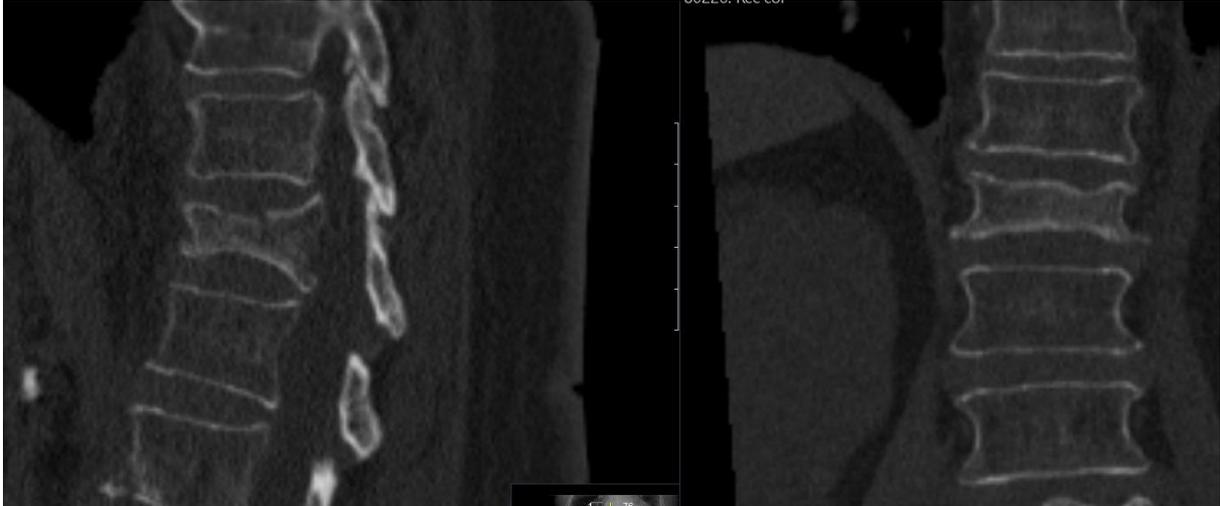
Der Eingriff wird in Vollnarkose durchgeführt. Der Patient wird auf einem geraden Durchleuchtungstisch in Bauchlage gelagert. Alle Bereiche der aufliegenden Körperfläche werden ausgiebig gepolstert (s. Abb. 4).



Abbildung 4: Bauchlagerung im OP-Saal (Maquet GmbH, Rastatt, Deutschland. www.maquet.com)

Durch dickere Auflagen im Schultergürtel- und Beckenbereich wird der ventrale Durchhang erzielt. Durch Unterpolsterung im Brust- und Beckenbereich kann die Bauchatmung unter Beatmung erleichtert werden (s. Abb. 5). Darüber hinaus wird hierdurch auch eine lagerungsbedingte Beatmungsbehinderung vermieden und eine freie Bauchatmung des Patienten gewährleistet.

A



B

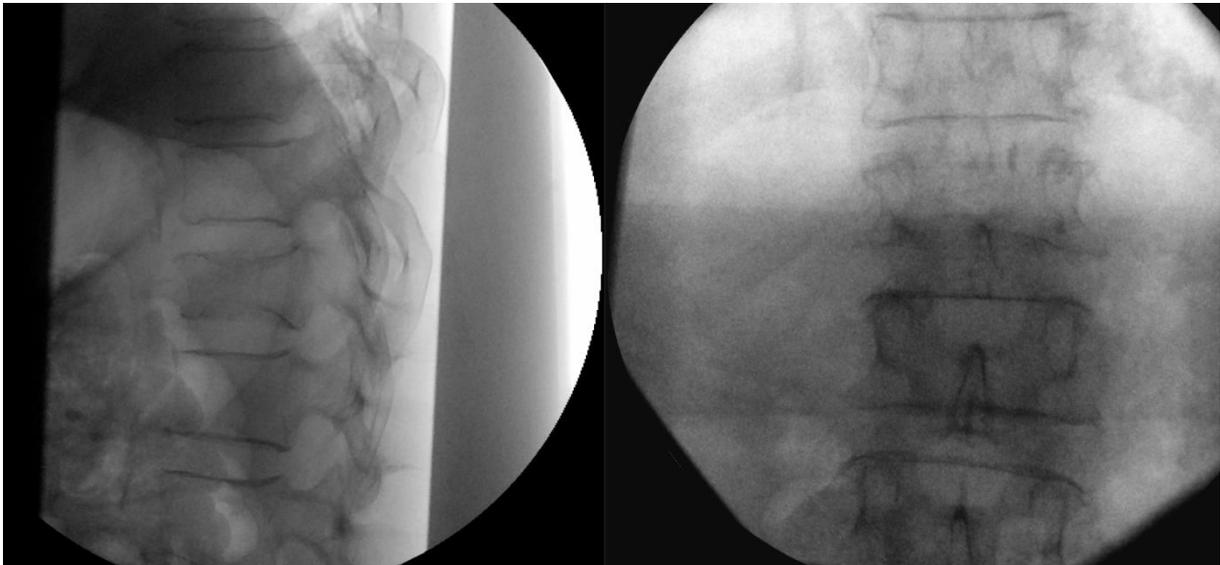


Abbildung 5: Repositionsergebnis nach Bauchlagerung bei BWK 12-Fraktur. A.) präoperativ in seitliche und a.-p. Ebene, B.) nach der Bauchlagerung in seitliche und a.-p. Ebene.

Im betroffenen Bereich erfolgt eine relativ großzügige Mittellinieninzision, die Muskulatur wird von ihren knöchernen Ansätzen rechts und links der Processi spinosi bis auf die Wirbelbögen abgelöst, wodurch gleichzeitig ein Bett für die Längsträger vorbereitet wird (Abb. 6). Die Lokalisation der Schraubeneintrittsstellen erfolgt anhand der anatomischen Landmarken und auch anhand der wiederholten Durchleuchtungsaufnahmen zur Darstellung der Pedikel in beiden Ebenen.

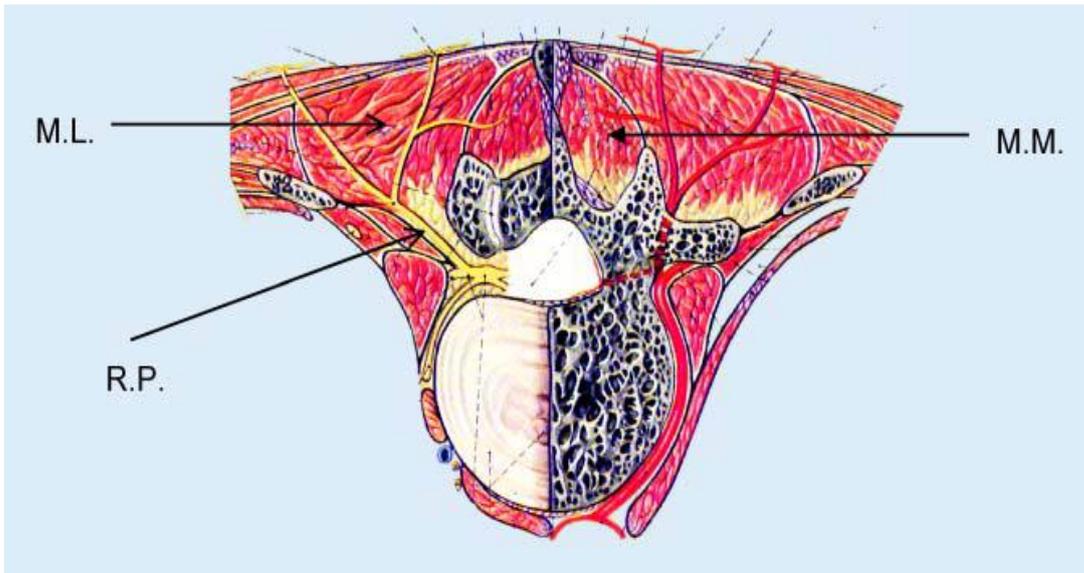


Abbildung 6: Querschnitt durch die Rückenmuskulatur. R.P - Ramus posterior nervi spinalis, M.L.- M. longissimus, M.M - M. multifidus. [38].

An den vorgesehenen Pedikeleintrittsstellen werden verkürzte Kirschner-Drähte der Stärke 1,6 mm eingebracht. Dies wird unter Durchleuchtungskontrolle durchgeführt, was die korrekte Positionierung erleichtert. Die Pedikeleintrittsstelle wird mittels Luer oder Pedikel-Pfriem eröffnet. Im Verlauf des Pedikels wird die transpedikuläre Vertiefung durch Aufreiben mit einer stumpfen Ahle präpariert. Der Pedikelinnenraum für die Aufnahme der Schrauben wird zur Überprüfung auf korrekten intraossären Verlauf und zum Ausschluß eines Durchbruchs mit einer Sonde abgetastet. Danach erfolgt unter Durchleuchtung der Eindringtiefe das Einsetzen der 4 Schanz-Schrauben (Abb. 7).



Abbildung 7: Schanz-Schrauben vor Einbringen in die Pedikel.

Die oberen und unteren Schrauben werden entsprechend parallel der Deck- und Grundplatten des gebrochenen Wirbelkörpers in die kranial und kaudal davon befindlichen Wirbelkörper eingebracht. Die Lage der Schrauben wird unter Durchleuchtung kontrolliert. Von besonderer Bedeutung ist die korrekte intraossäre Lage der Schrauben mit adäquater Konvergenz, ohne Knochendurchbruch nach intraspinal oder seitlich des Wirbelkörpers bzw. nach anterior darüber hinaus (Abb. 8).

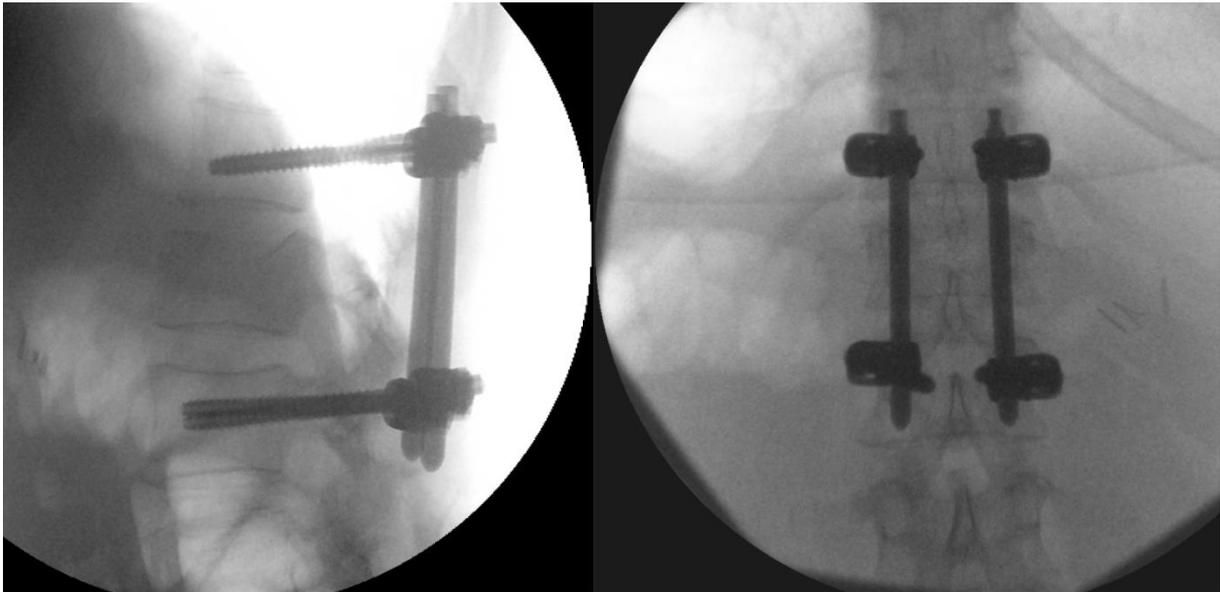
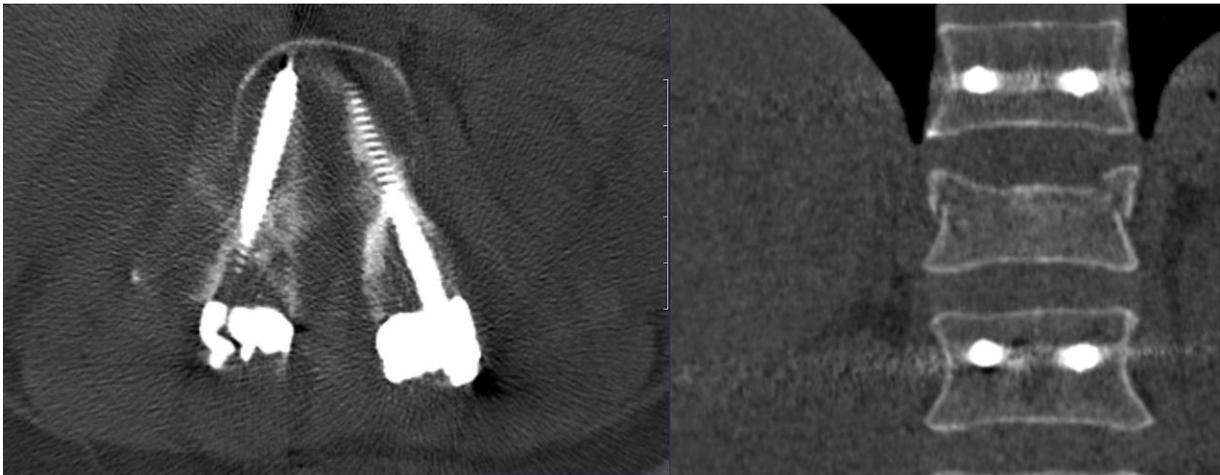
A**B**

Abbildung 8: Schraubenlage: A) intraoperative Durchleuchtungskontrolle in sagittaler und a.-p. Ebene, sowie B) postoperative axiale und koronare CT-Aufnahme mit intraossärer Pedikelschraubenlage und adäquater Konvergenz.

Bei hochgradiger Instabilität der Fraktur und Vorliegen einer ausgeprägten Osteoporose werden zur Erhöhung der Stabilität des Fixateur-Systems kanülierte, perforierte Schrauben verwendet und anschließend mit Zement augmentiert. Andere Optionen, wie zum Beispiel eine mehrsegmentale Stabilisierung (Ausdehnung der Stabilisierung mindestens 2 Etagen kranial und kaudal des frakturierten Wirbels) oder auch ein zusätzlicher Querverbinder zur Erhöhung der Stabilität wurde bei den Patienten der vorliegenden Studie nicht verwendet

5.2.1.2 Reposition

Um eine adäquate Reposition des frakturierten Wirbelkörpers zu erreichen, gibt es unterschiedliche Repositionstechniken. Bei frischen Frakturen wird die Lordosierung zur Korrektur durch die an Brust und Becken unterpolsterte Bauchlagerung genutzt. Bei ungenügender Reposition muss mit Hilfe des hebelnden-Schraubenschlüssels an den langen Schanz-Schrauben über die kippbaren Backen eine weitere Lordosierung erfolgen. Vorher müssen die Schanz-Schrauben an den Längsträger vom Abstand fixiert werden. Damit wird das Zerdrücken des verletzten Wirbels und die Verschiebung eines möglichen Hinterkantenfragmentes nach dorsal vermieden.

Eine weitere Reposition gelingt nach der Lordosierung durch eine Distraction des frakturierten Wirbels mit einer Distractionzange. Um eine Überdistraction zu vermeiden sollte die Reposition unter Durchleuchtung erfolgen, da diese Methode einerseits eine unphysiologische Spannung auf die Bindegewebsstrukturen auslösen kann, andererseits auch neuronale Strukturen überdehnt werden können. Als Orientierung hierfür kann der Abstand der benachbarten Segmente dienen.

Nach den oben genannten Repositionstechniken wird eine indirekte Hinterkantenreposition erzielt (Abb. 9). Dadurch kann eine offene Revision des Spinalkanals häufig vermieden werden. Die indirekte Hinterkantenreposition basiert auf dem Prinzip der Ligamentotaxis durch ein intaktes Ligamentum longitudinale posterior und teilweise auf einem Vakuum-Effekt durch den aufgerichteten Wirbelkörper.

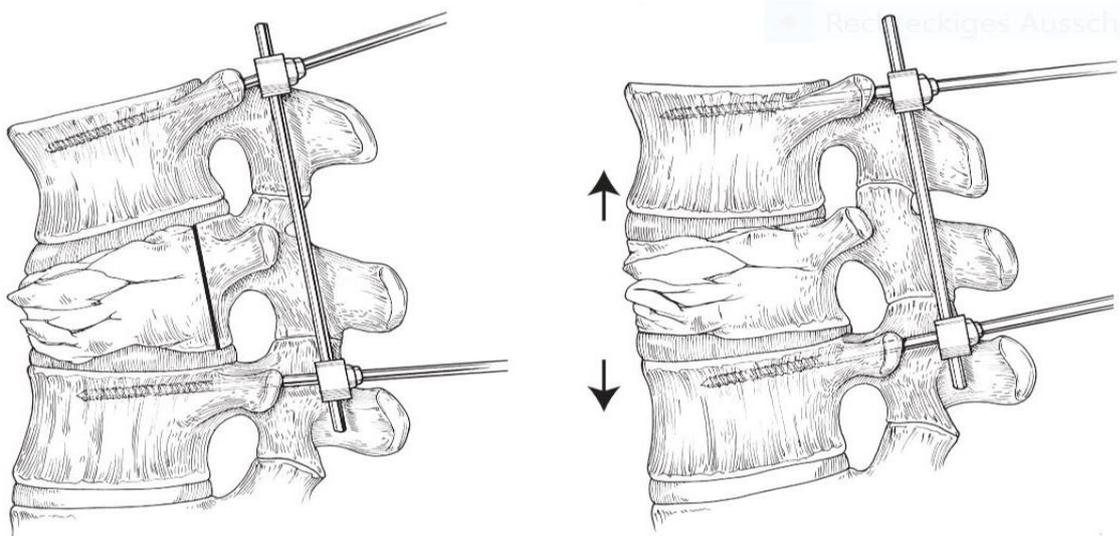


Abbildung 9: Indirekte bisegmentale Reposition durch Lordosierung und Distraction. Bandstrukturur Ligamentotaxis und straffer Anulus fibrosus unterstützen zusätzlich die indirekte Reposition der Hinterkante. [118], [100].

5.2.2 Die Operationsmethode der minimalinvasiven dorsalen, bisegmentalen Stabilisierung

Im Jahre 2002 wurde erstmalig von Foley und Kollegen die perkutane dorsale Instrumentierung im Rahmen einer dorsalen Spondylodese beschrieben. Seitdem wird das Verfahren in der Frakturversorgung bei thorakolumbalen Verletzungen der Wirbelsäule zunehmend eingesetzt. Heutzutage gibt es zahlreiche Instrumentarien für die perkutane Technik mit unterschiedlichen Anwendungsmethoden.

5.2.2.1 Lagerung, Präparation des Zuganges und Schraubenplatzierung

Die Lagerung des Patienten erfolgt analog zum beschriebenen, offenen Verfahren. Die Operation beginnt mit einer exakten Einstellung der korrekten Eintrittspunkte mit dem Bildwandler. Hierbei müssen die Pedikel der zu besetzenden Wirbelkörper in der a.-p.-Ebene im Bildwandler ovalär zur Darstellung kommen in der seitlichen Ebene müssen die Deck- und Bodenplatten als parallele Striche zu erkennen sein. Beim gedeckten Vorgehen erfolgen paramediane, ca. 2–3 cm lange Stichinzisionen etwas lateral des jeweiligen Pedikels mit nachfolgend schonender Spaltung der Muskulatur. Der Pedikel wird mit einer Jamshidi-Nadel durch Perforation am dorsalen Eintrittspunkt durchlaufen, wobei die Nadel stufenweise bis zur Hinterkante des Korpus vorgeschoben wird. Dann wird ein Führungsdraht in den Korpus eingebracht. Die Richtung und Länge der Schraube können noch mit dem Gewindeschneider bestimmt werden. (Abb. 10).

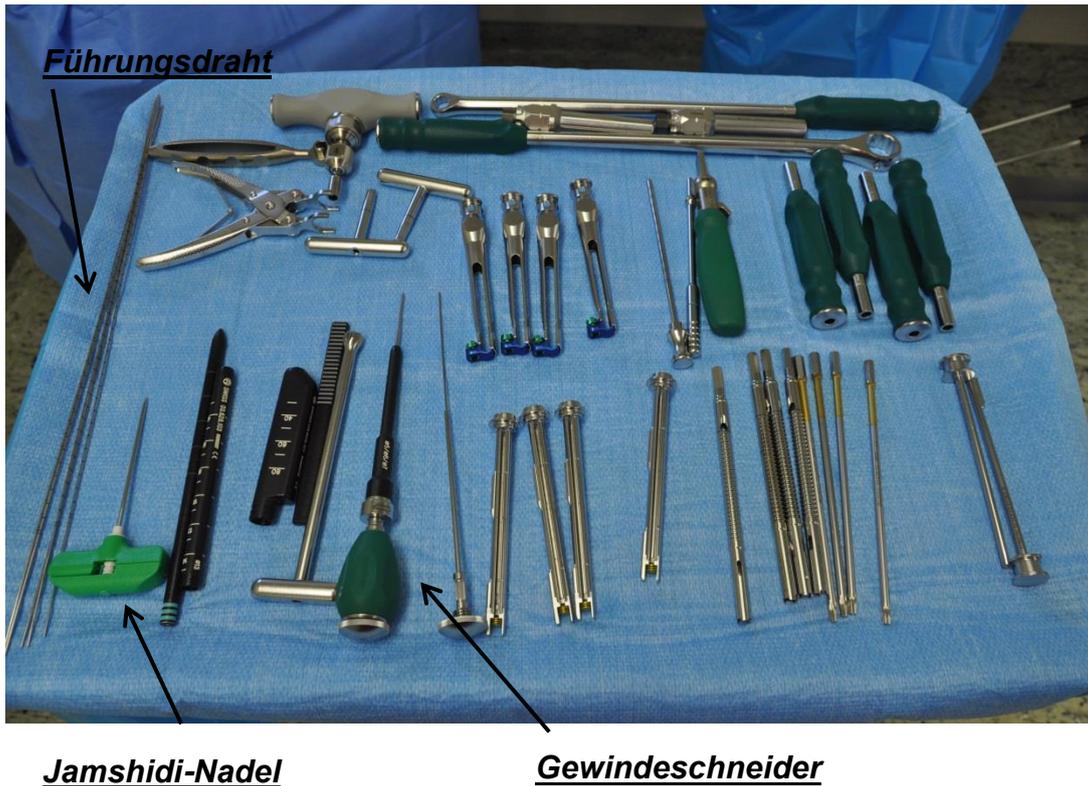


Abbildung 10: Instrumentarium für die minimalinvasive dorsale, bisegmentale Stabilisierung.

Nach dem Gewindeschneiden werden die Pedikel-Schrauben ca. 5-10° konvergierend parallel zu den Endplatten der kranial und kaudal benachbarten Wirbelkörper eingebracht. Diese müssen aufgrund der Konvexität der ventralen Kante der Wirbelkörper nur bis maximal 75% der Korpus-tiefe eingedreht werden. Nach Einsetzen aller Pedikel-Schrauben werden nachfolgend die Längsträger eingebracht. Diese werden über 2 Segmente eingesetzt. Die Länge des Stabs wird entweder direkt an den Enden der über Hautniveau liegenden Arbeitstrokare oder über eine Messschablone bestimmt. Zur Platzierung der Stäbe unter Hautniveau wurden unterschiedliche Systeme entwickelt. In den eingeschlossenen Fällen wurde jenes verwendet, mit dessen Hilfe der Längsträger manuell vorgeschoben werden kann (Abb. 11). Nach der radiologischen Kontrolle der Fraktur-reposition und der korrekten Lage der Implantatkomponenten erfolgte die winkelstabile Fixierung der Längsträger mit Madenschrauben über die Führungstrokare.

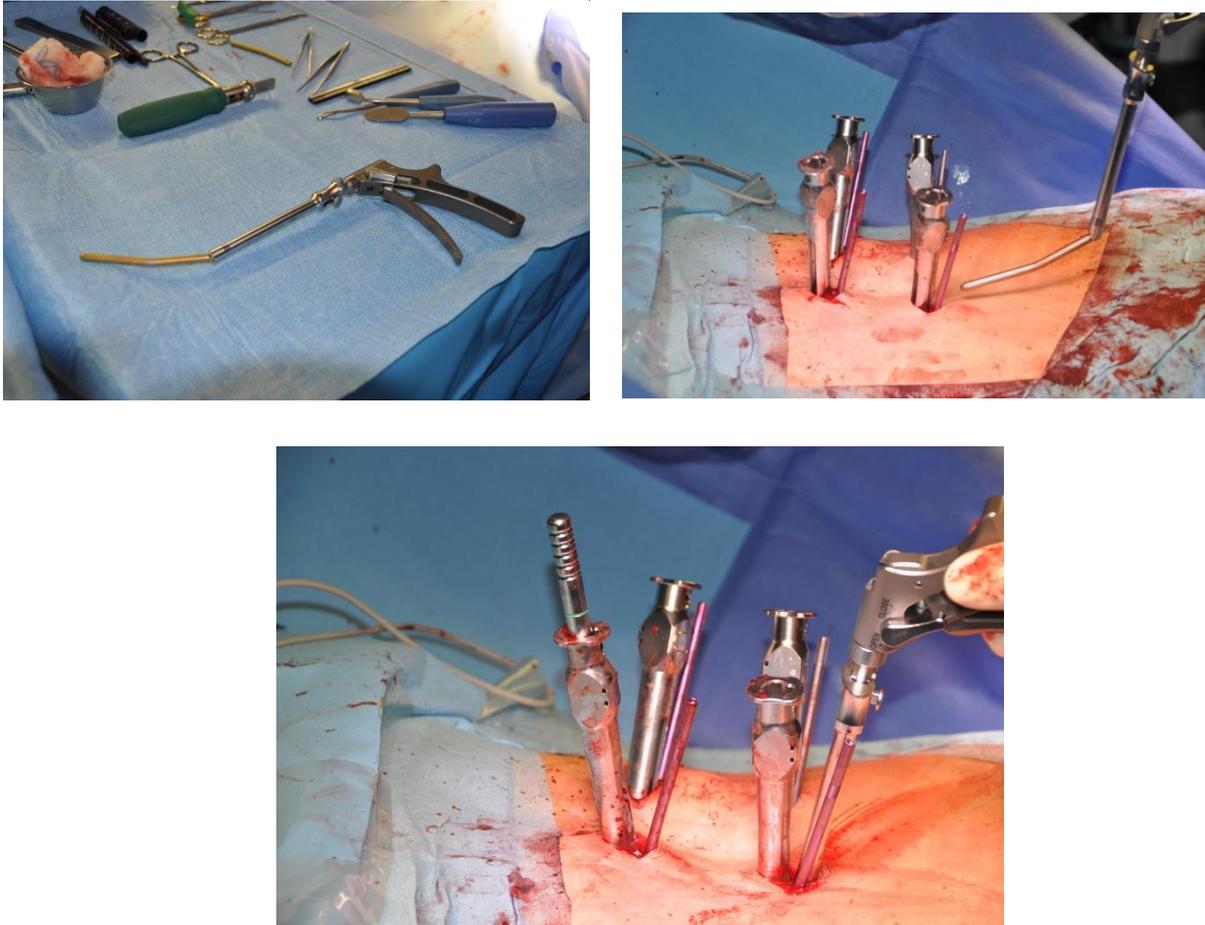


Abbildung 11: Einbringen des Längsträgers mittels Handgriff.

5.2.2.2 Reposition

Analog zur Beschreibung des offenen Verfahrens gibt es zur Reposition der Fraktur, Wiederherstellung der Wirbelkörperhöhe und Reposition der Hinterkante des Wirbelkörpers unterschiedliche Repositionstechniken. Durch den ventralen Aushang nach Unterpolsterung von Becken und Thorax kann die segmentale Kyphose am thorakolumbalen Übergang verbessert werden. Durch Zug am Becken und Gegenzug an den Schultern sowie Gegendruck von dorsal auf Verletzungshöhe wird das Repositionsmanöver verstärkt. Bei einer Achsabweichung in der Frontalebene kann ein asymmetrischer Zug durch Distraction bei gegensinniger Kompression der Gegenseite indiziert sein. Eine Relaxation des Patienten durch die Anästhesie kann hierbei hilfreich sein.

Mit Hilfe der modernen, perkutanen Systeme ist es möglich, sowohl durch optimale Distraction als auch durch Lordosierung eine gute Reposition zu erreichen (Abb. 12).

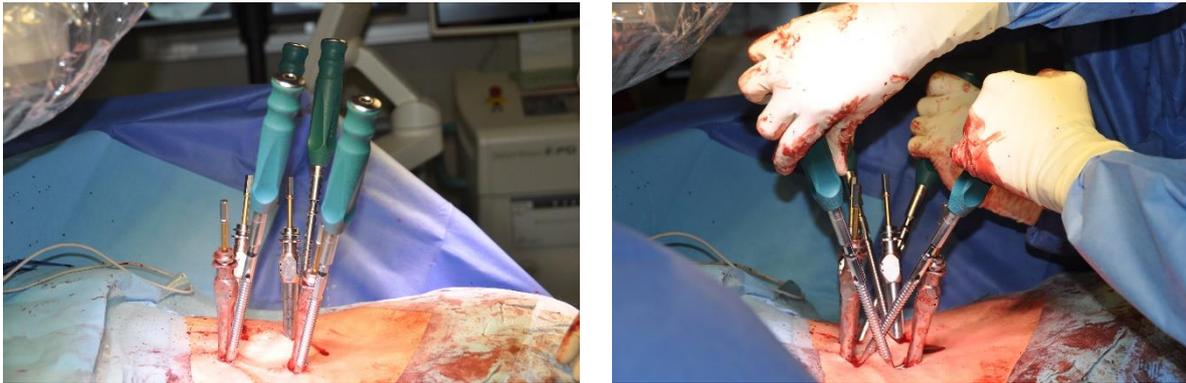


Abbildung 12: Schanz-Schrauben und angelegte Schraubenschlüssel vor (links) und nach (rechts) Repositionsmanöver

Durch die Manipulation über das Instrumentarium kann man die Reposition noch verbessern. Ein besonderes Augenmerk verdient hierbei der Längsträger, der bei starker Kyphose-Stellung am thorakolumbalen Übergang lordotisch vorgebogen werden kann. Durch das anschließende Einbringen und Fixieren der Inlays sowie durch Ausrichtung der Schrauben zum Längsträger wird die Reposition unterstützt (Abb. 13), (Abb. 14).



Abbildung 13: Längsträger im Set (oben links), nach dem lordotischen Vorbiegen (oben rechts) und mit Handgriff (unten).



Abbildung 14: *Nach der Reposition mit lordotisch vorgebogenen Längsträgern.*

In diesem Zusammenhang ist die Knochenqualität wichtig, da es bei vorbestehender Osteoporose während der Reposition zum Ausbrechen der Schanz-Schrauben kommen kann. In solchen Fällen bleiben als Optionen das Einsetzen der zementaugmentierten Schrauben mit erweitertem Schraubendurchmesser oder die mehrsegmentale Lastenverteilung auf jeweils zwei kranial und zwei kaudal der Fraktur angrenzende Wirbelkörper.

In unserer Arbeit wurden penetrierte Schrauben und Zementaugmentation verwendet.

5.2.3 Postoperative Nachbehandlung

Die stationäre postoperative Nachbehandlung der Patienten umfasste regelmäßige Wundkontrollen und neurologische Funktionsprüfungen, eine physikalisch-medikamentöse Thromboseprophylaxe sowie ausreichende Analgesie. Nach klinikinternem Standard wurden postoperativ bildgebende Kontrollen mittels Röntgen und CT-Aufnahmen zur Lagekontrolle

der Schrauben sowie zum Ausschluss einer Spinalkanalbeteiligung durchgeführt. Bereits am ersten beziehungsweise zweiten postoperativen Tag wurden mit der Mobilisation sowie Mobilitäts- und Alltagstraining unter Vermeidung einer starken Rotation und Flexion des Rumpfes begonnen.

5.3 Datenerhebung

Die Erhebung allgemeiner und operationsbezogener Patientendaten erfolgte durch Auswertung der elektronischen Patientenakten aus der klinikeigenen Datenverarbeitungssoftware. Messungen aus radiologischer Bildgebung (konventionelles Röntgen und CT-Aufnahmen) wurden aus dem klinikinternen PACS entnommen und mit Hilfe einer medizinischen Managementsoftware analysiert. In dem für das Datenmanagement erstellten Excel-Tabellen wurden alle relevanten Daten erfasst.

5.3.1 Allgemeine, Aufnahme- und Patientendaten

Um den allgemeinen Behandlungsverlauf der beiden Gruppen abzubilden, wurden folgende Aufnahme- und Patientendaten erfasst:

- Alter
- Geschlecht
- Unfalltag
- Frakturlokalisierung
- Klassifikation nach AO
- Begleitverletzungen
- Begleiterkrankungen
- neurologische Ausfälle

Desweiteren wurden die zeitlichen Umstände vor und während des Aufenthaltes im Universitätsklinikum in Tagen erfasst:

- Dauer vom Unfalltag bis OP, daraus rechnerisch Dauer von Aufnahme im UKS bis OP
- Aufenthalt auf Intensivstation
- Dauer des stationären Aufenthaltes

5.3.2 Operations-assoziierte klinische Daten

Folgende Operations-assoziierte Daten wurden erfasst:

- Operationsverfahren (offen oder minimalinvasiv)
- Operationsdauer
- Geschätzter Blutverlust nach Angaben des Operateurs
- Bedarf an Erythrozytenkonzentraten
- Neurologische Ausfälle
- Durchführung weiterer Operationen während des gleichen Aufenthaltes
- Komplikationen

5.3.3 Radiologische Daten

5.3.3.1 Präoperative Daten - Röntgenbilder und CT-Aufnahmen nach dem Unfall

Aus der präoperativ angefertigten bildgebenden Diagnostik wurden folgende Informationen erhoben:

- Lokalisation der Fraktur
- Frakturklassifikationen nach der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese (AO)

5.3.3.2 Radiologische Parameter erhoben prä-, intra- und postoperativ

Standardmäßig erfolgen bei jeder Wirbelsäulenoperation intraoperative Bildwandleraufnahmen, welche zur Repositionskontrolle herangezogen werden. Postoperativ werden ebenfalls als Standard Röntgenaufnahmen im Stehen und postoperative CTs durchgeführt, diese konnten zur Auswertung der Fragestellungen herangezogen werden.

Die Fehlstellung der Wirbelsäule im Bereich der Fraktur wurde durch den bisegmentalen Grunddeckplattenwinkel nach Cobb (Cobb-Winkel) in der seitlichen und anteroposterioren Ebenen gemessen.

Der bisegmentale GDW seitlich (Cobb-Winkel seitlich) wurde als Winkel zwischen der Deckplatte des kranial an den frakturierten Wirbelkörper angrenzenden, gesunden Wirbelkörper und der Grundplatte des kaudal angrenzenden, gesunden Wirbelkörpers, in seitlicher Ebene ermittelt.

Der bisegmentale GDW antero-posterior (Cobb-Winkel a.-p.) wurde als Winkel zwischen der Deckplatte des kranial an den frakturierten Wirbelkörper angrenzenden, gesunden Wirbelkörpers und der Grundplatte des kaudal angrenzenden Wirbelkörpers in anteroposteriorer Ebene ermittelt (Abb. 15).

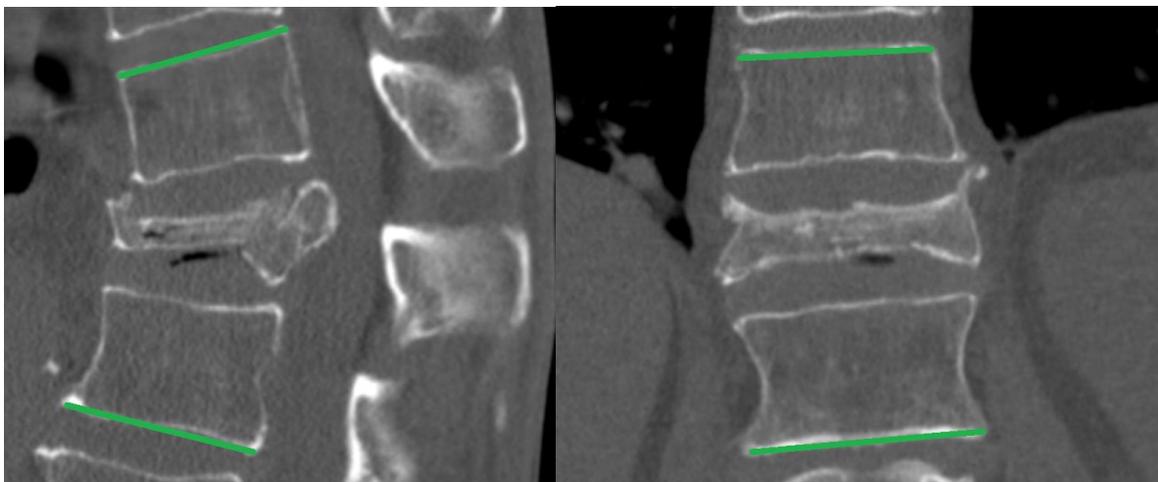


Abbildung 15. Bisegmentale GDW seitlich (rechts) und a.-p. (links) bei LWK 1-Fraktur.

Die Messung des GDW erfordert die Lokalisation der definierten Wirbelkörperendplatten. Der oben genannte Winkel wurde in beiden Ebenen von uns präoperativ, intraoperativ nach der

Lagerung in Bauchlage, intraoperativ nach Stabilisierung mittels Fixateur interne, sowie postoperativ gemessen.

Der nächste Winkel, der die Lokalisation definierte Wirbelkörperendplatten erforderte, war der Körperwinkel = Keilwinkel (KW), welcher als Winkel zwischen der Grund- und Deckplatte des frakturierten Wirbelkörpers definiert ist.

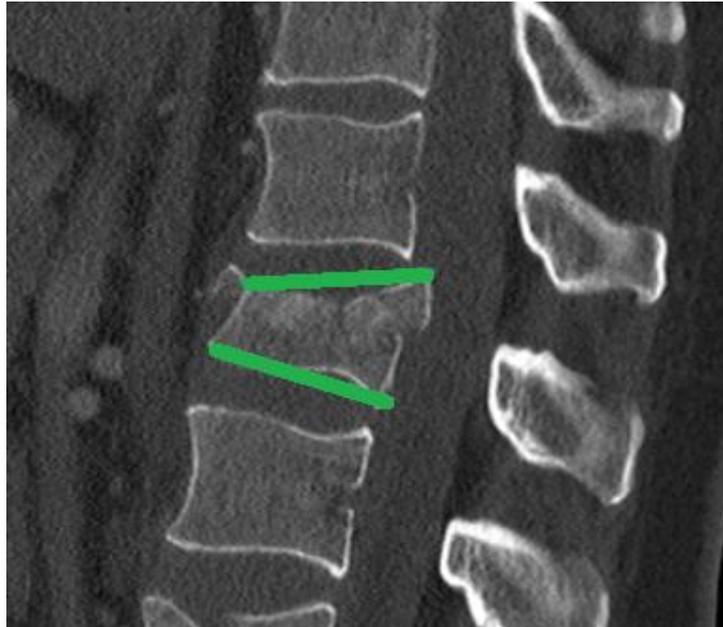


Abbildung 16: Körperwinkel bei LWK 1-Fraktur.

Relative Höhe (V) des gebrochenen Wirbelkörpers in Prozent: Quotient aus ventraler Höhe des verletzten Wirbelkörpers (V) und Mittelwert der ventralen Wirbelkörperhöhen oberhalb (V1) und unterhalb (V2) des verletzten Wirbelkörpers. Dieser zeigt eine prozentuale Höhenminderung des gebrochenen Wirbelkörpers präoperativ, sowie den Grad der Wiederherstellung des Wirbelkörpers postoperativ (Abb. 17 und 18).

$$V (\%) = V : (\frac{1}{2} (v1+v2)) \times 100\%$$

Abbildung 17: Formel der relativen Höhe (V) des gebrochenen Wirbelkörpers in Prozent.

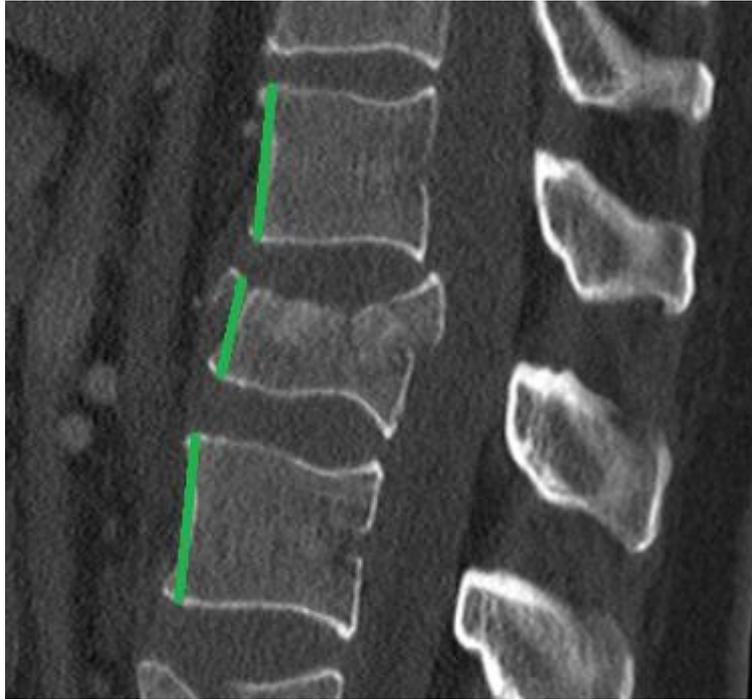


Abbildung 18: Relativen Höhe (V) des gebrochenen Wirbelkörpers präoperativ.

Zudem wurde die Spinalkanalweite in mm bzw. die verbliebene Öffnung des Spinalkanals (S) in Prozent bestimmt. Diese errechnet sich als der Quotient aus dem sagittalen Spinalkanaldurchmesser in Frakturhöhe an engster Stelle (S) und dem Mittelwert des Durchmessers der darüber (S1) und darunter (S2) befindlichen äquivalenten Wirbelkörperregionen. Aus der Subtraktion des Quotienten mit 1 ergibt sich die Einengung des Spinalkanals. Anschließend wird dies prozentual berechnet (Abb. 19 und 20).

$$S (\%) = S : (\frac{1}{2} (s1+s2)) \times 100\%$$

Abbildung 19: Formel der verbliebenen Öffnung des Spinalkanals in Prozent.



Abbildung 20: Die verbliebene Öffnung des Spinalkanals präoperativ.

5.3.3.3 Postoperative radiologische Daten, ausgewertet anhand postoperativer Röntgen- und CT-Bilder

Korrekturumfang des bisegmentalen GDWs [°] in beiden Ebenen: Cobb-Winkel postoperativ abzüglich Cobb-Winkel präoperativ, entsprechend in beiden Ebenen.

Korrekturumfang des KWs [°] und der relativen Höhe [%]: KW postoperativ abzüglich KW präoperativ, sowie relative Höhe des gebrochenen Wirbelkörpers postoperativ, abzüglich der präoperativen Höhe.

Korrekturumfang des Spinalkanals: Spinalkanalweite postoperativ abzüglich Spinalkanalweite präoperativ in mm, sowie die Restweite des Spinalkanals prozentual postoperativ abzüglich der Restweite des Spinalkanals prozentual präoperativ.

Beurteilung der Pedikelschraubenlage des Fixateurs interne und Klassifikation nach Zdichavsky (Tabelle 2 und Abb. 21).

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

Tabelle 2: Klassifikation der Pedikelschraubenlage nach Zdichavsky PSD = Pedikelschraubendurchmesser [123].

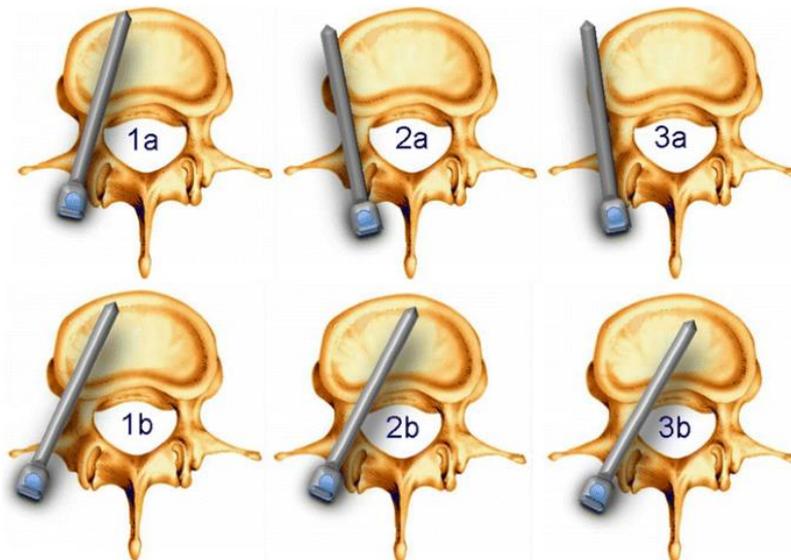


Abbildung 21: Klassifikation der Pedikelschraubenlage nach Zdichavsky [42].

Beurteilung und Messen des Backen-Knochen-Abstandes in mm: der größte Abstand zwischen schraubenhaltender Backe und Knochenoberfläche in mm in axialer Schnittbildgebung (Abb. 22).



Abbildung 22: Backen-Knochen-Abstand in mm.

Beurteilung der Zementleckage an den Schrauben nach Zementaugmentation oder am gebrochenem Wirbelkörper nach Ballon-Kyphoplastie (Abb. 23).

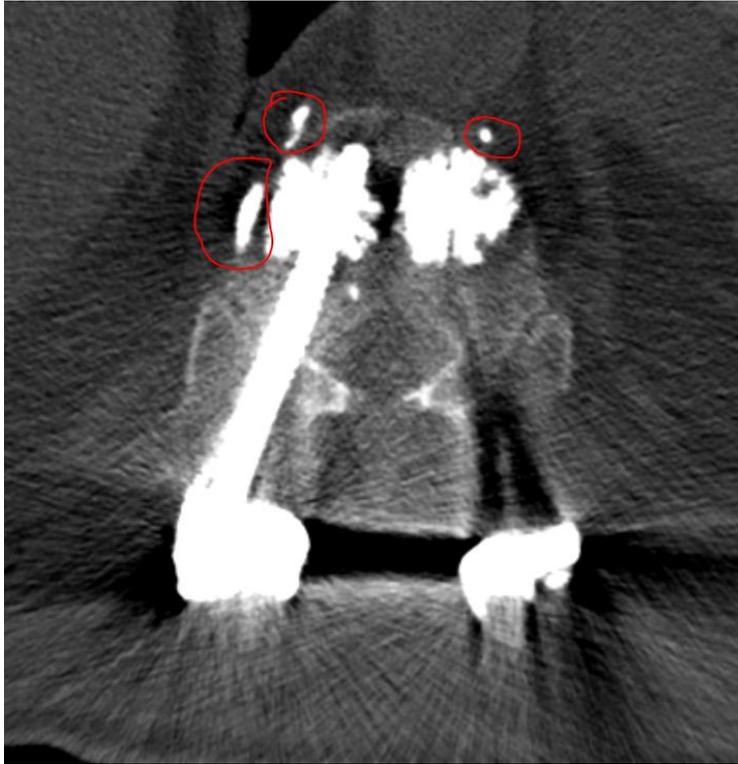


Abbildung 23: Zementleckage an den Schrauben nach Zementaugmentation.

5.3.4 Statistische Auswertung

Alle gemessenen Daten wurden zunächst in Excel-Tabellen erfasst. Mit Hilfe der Software SigmaPlot Version 13.0 wurden alle statistisch relevanten Werte, wie Mittelwert, Standardabweichung (SD), Median, Minimum- und Maximumwerte, Quantile 25 bis 75 % berechnet und graphisch dargestellt. Das Signifikanzniveau wurde mit $p < \text{mindestens } 0,05$ festgelegt und im einzelnen aufgeführt.

Folgende standardisierte Tests inklusive der Prüfung auf Normalverteilung wurden angewendet.

- t -Test bei unabhängigen Stichproben mit Normalverteilung,
- Gepaarter t -Test bei abhängigen, verbundenen Stichproben mit Normalverteilung,
- Mann-Whitney-U-Test bei unabhängigen Stichproben, die nicht normal verteilt waren.

Die Gruppengröße wurde a priori mithilfe des Programms GPower 3.1 bestimmt, so dass die Anzahl der untersuchten Fälle pro Gruppe in unserer Arbeit ausreichend war um eine Poweranalyse mit einem β -Fehler von 80% zu erlauben (Abb. 24).

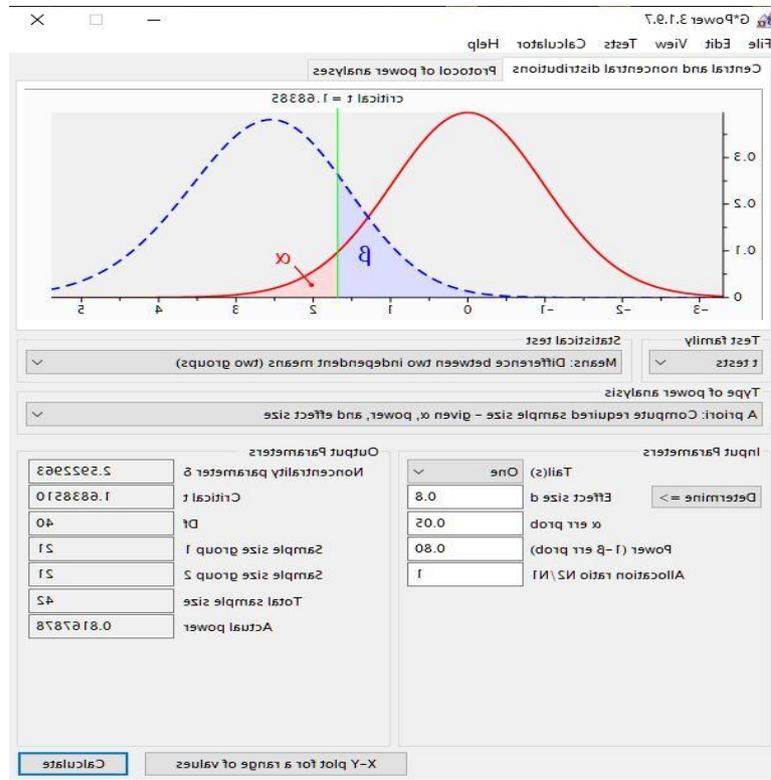


Abbildung 24: Poweranalyse mit GPower (Univ. Düsseldorf), hier dargestellt Gruppengröße $n=21$.

6. Ergebnisse

6.1 Ergebnisse allgemeiner Patientendaten

In dem Zeitraum von Januar 2011 bis Dezember 2015 wurden in der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum des Saarlandes / Homburg ca. 660 Patienten mit Verletzungen an der Wirbelsäule operiert. Davon wurden insgesamt 60 Patienten mit akuten Verletzungen am thoracolumbalen Übergangsbereich der Wirbelsäule durch bisegmentale dorsale Stabilisierung versorgt, die den Eingangskriterien entsprechen. Vom 60 Patienten umfassenden Kollektiv wurden 30 Patienten in die Gruppe mit offener, bisegmentaler dorsaler Stabilisierung (Gruppe OFFEN) und 30 Patienten in die Gruppe mit minimalinvasiver bisegmentaler dorsaler Stabilisierung (Gruppe MIS) eingeteilt.

6.1.1 Eigenschaften der Patientengruppen

Zum Zeitpunkt der Behandlung betrug das Durchschnittsalter in der Gruppe OFFEN 66 Jahre mit einer Spanne von 22 bis 83 Jahren. Die Gruppe MIS umfasste Patienten mit einer Altersspanne von 21 bis 91 Jahren, was hier einem Durchschnittsalter von 67 Jahren entsprach.

Die Geschlechtsverteilung war mit 19 Frauen und 11 Männern in der Gruppe OFFEN und 17 Frauen und 13 Männern in der Gruppe MIS ausgeglichen.

6.1.2 Frakturhöhe

Die Frakturlokalisation erstreckte sich von BWK 10 bis LWK 3. Die topographische Verteilung der Frakturen innerhalb beider Gruppen ist in Abbildung 25 dargestellt. Am häufigsten war LWK 1 betroffen (60% in der Gruppe OFFEN und 53% in der Gruppe MIS). Am zweithäufigsten waren Frakturen von BWK 12, vertreten mit 17% in der Gruppe OFFEN und mit 23% in der Gruppe MIS.

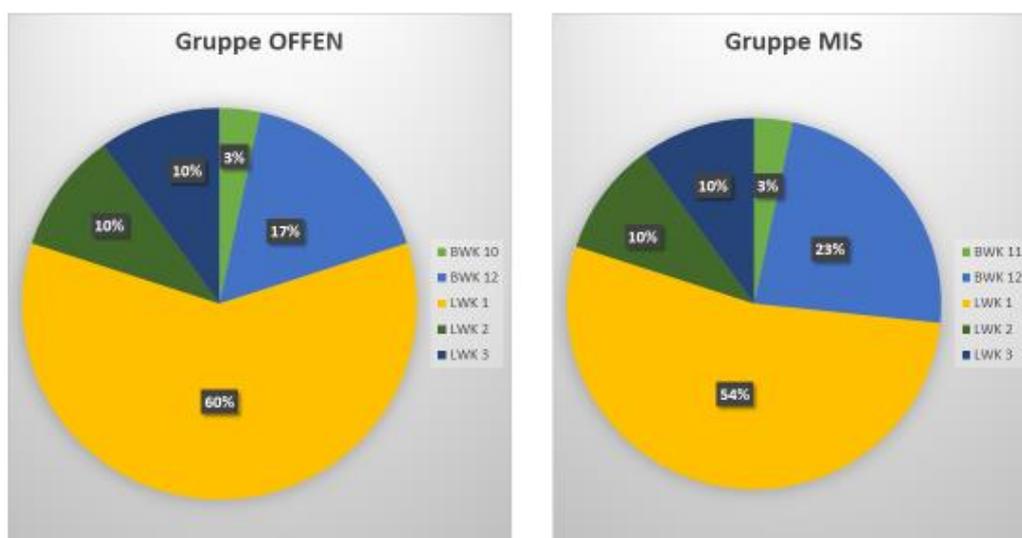


Abbildung 25: Prozentualer Anteil der Frakturhöhen in beiden Grundkollektiven.

6.1.3 Frakturklassifikation

In beiden Gruppen waren Frakturen unterschiedlicher Schwere nach Arbeitsgemeinschaft der Osteosynthese (AO) klassifiziert. In Abbildung 26 und Tabelle 3 sind der prozentuale sowie absolute Anteil der Frakturtypen dargestellt.

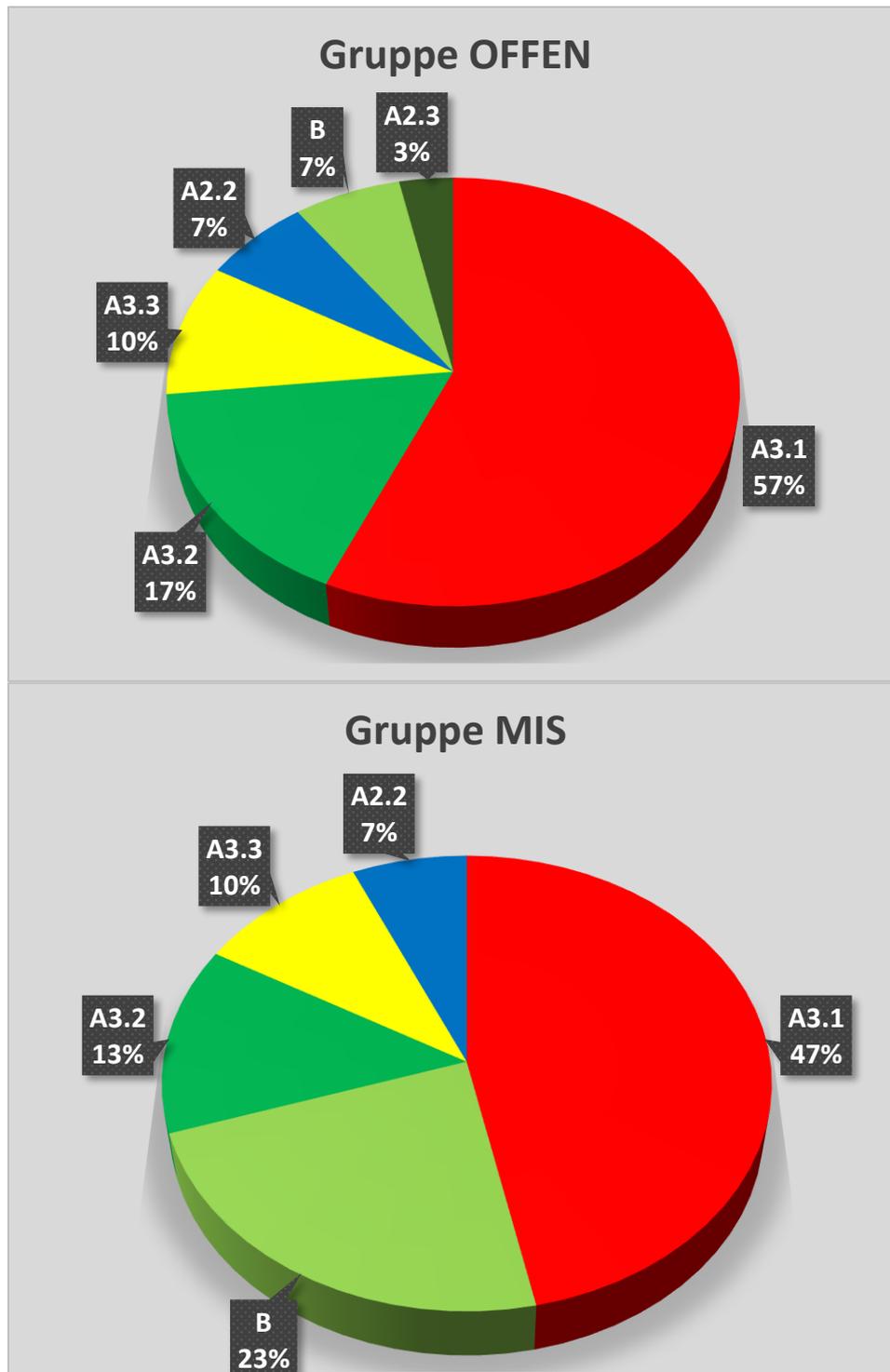


Abbildung 26: Prozentualer Anteil der Frakturtypen (nach AO) in der Grundkollektiven.

Frakturtyp	Anzahl
A2.2	2
A2.3	1
A3.1	17
A3.2	5
A3.3	3
B	2

Gruppe OFFEN

Frakturtyp	Anzahl
A2.2	2
A3.1	14
A3.2	4
A3.3	3
B	7

Gruppe MIS**Tabelle 3: Zahl der Frakturtypen (nach AO) in den Grundkollektiven.**

Der häufigste Frakturtyp in beiden Gruppe war die Typ A3.1 Berstungsfrakturen (in der Gruppe OFFEN 57% und in der Gruppe MIS 47%). B-Verletzungen kamen mit einer Häufigkeit von 7% in der Gruppe OFFEN und 23% in der Gruppe MIS vor. C-Verletzungen wurde in keiner der beiden Patientenkollektive eingeschlossen.

6.1.4 Begleitverletzungen

In der Gruppe OFFEN befanden sich 7 Patienten (23%) mit Begleitverletzungen. Darunter 4 Polytraumata mit diversen Zusatzverletzungen wie Schädelhirntrauma, Dornfortsatzfrakturen von BWK 8-9, Schlüsselbeinfrakturen und distale Radiusfraktur (die im Verlauf durch Plattenosteosynthese versorgt wurde), Mittelhandknochenfrakturen sowie bimalleolären Sprunggelenksfrakturen und Fersenbeinfrakturen beidseits. Außerdem fanden sich in der Gruppe OFFEN 3 Patienten mit zusätzlichen Wirbelkörperfrakturen, die im Verlauf konservativ behandelt wurden. Im Patientenkollektiv der Gruppe MIS fanden sich 2 Patienten (7%) mit Begleitverletzungen, wie einer distalen Radiusfraktur und Wirbelkörperfrakturen an der BWS, die weiter konservativ behandelt wurden.

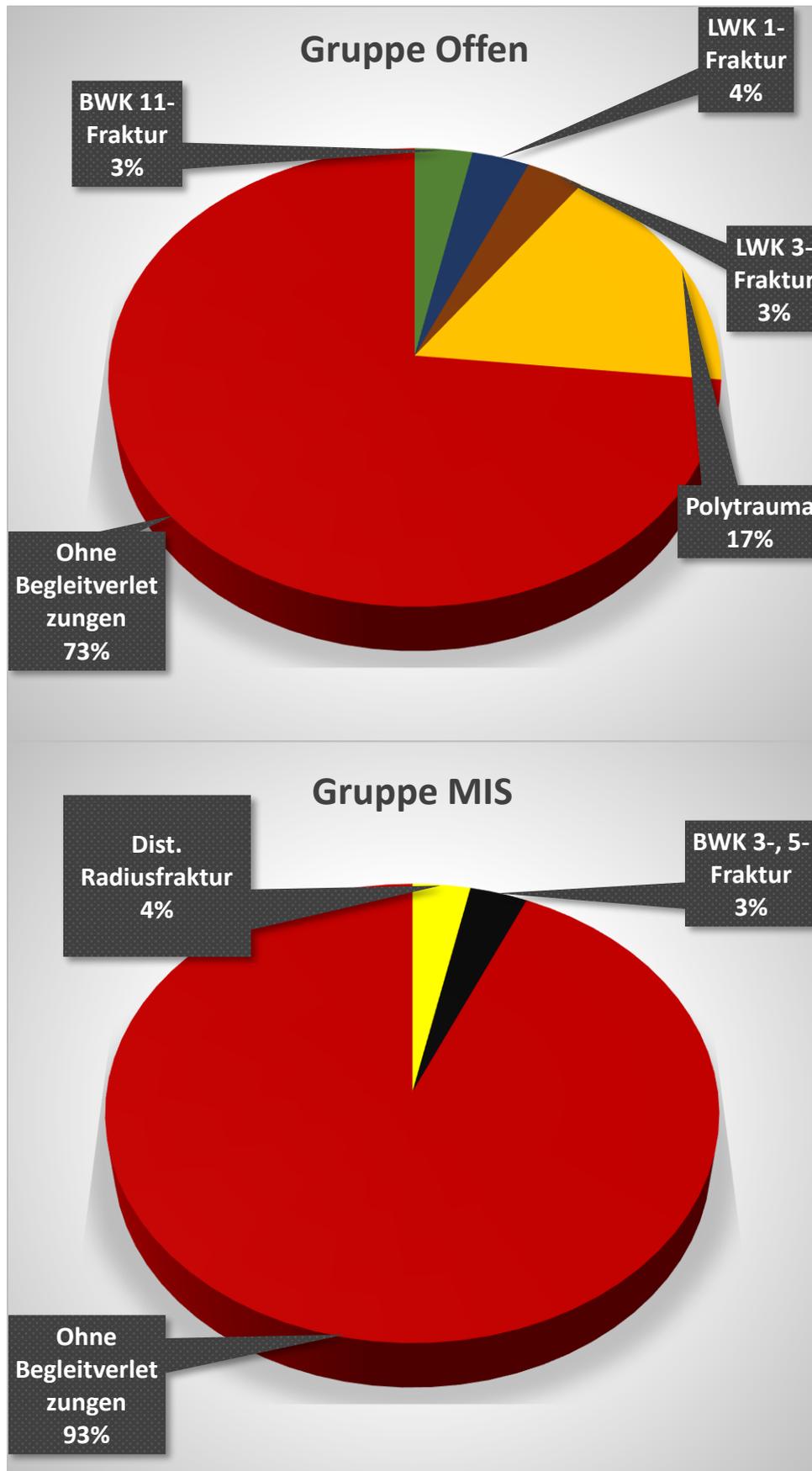


Abbildung 27: Anzahl der Patienten mit Begleitverletzungen pro Gruppe.

6.1.5 Begleiterkrankungen

Die Begleiterkrankungen lagen bei 17 Patienten (57%) im Patientenkollektiv OFFEN sowie bei 19 Patienten (63%) in der Gruppe MIS (s. Abb. 28). Die Begleiterkrankungen umfassten arterieller Hypertonus, Koronare Herzkrankheit (KHK), Herzinsuffizienz, Vorhofflimmern, Asthma bronchiale, COPD, insulinpflichtigen (IDDM) und nicht-insulinpflichtigen (NIDDM) Diabetes mellitus, Hyperthyreose, Adipositas per magna, Niereninsuffizienz, Zustand nach Apoplex, Epilepsie, Morbus Parkinson, Depression, paranoide Psychose, Zustand nach Mamma-Carcinom, Zustand nach Bronchial-Carcinom, Plasmozytom, Prostatahyperplasie, Psoriasis, rheumatoide Arthritis, Alkoholabusus, Morbus Bechterew, Spinalkanalstenose und stattgehabte Frakturen der Brustwirbelsäule (s. Tabelle 4).



Abbildung 28: Anzahl der Patienten mit Begleiterkrankungen pro Gruppe.

Gruppe OFFEN	Gruppe MIS
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Art. Hypertonie</i> • <i>KHK</i> • <i>Herzinsuffizienz</i> • <i>Bronchiale Asthma</i> • <i>COPD</i> • <i>Diabetes mellitus - Typ 1</i> • <i>Diabetes mellitus - Typ 2</i> • <i>Hypothyreose</i> • <i>Adipositas</i> • <i>Niereninsuffizienz</i> • <i>Epilepsie</i> • <i>Morbus Parkinson</i> • <i>Paranoide Psychose</i> • <i>M. Bechterew</i> • <i>Psoriasis</i> • <i>Prostata Hyperplasie</i> • <i>Z. n. Mama-Carcinom</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Art. Hypertonie</i> • <i>KHK</i> • <i>Herzinsuffizienz</i> • <i>Vorhofflimmern</i> • <i>COPD</i> • <i>Diabetes mellitus - Typ 1</i> • <i>Adipositas</i> • <i>Hypothyreose</i> • <i>Niereninsuffizienz</i> • <i>Z. n. Apoplex</i> • <i>Epilepsie</i> • <i>Morbus Parkinson</i> • <i>Depression</i> • <i>Alkoholabusus</i> • <i>Rheumatoide Arthritis</i> • <i>Bronchial-Carcinom</i> • <i>Plasmozytom</i>

Tabelle 4: Art der Begleiterkrankungen in beiden Gruppen.

6.2 Ergebnisse Operations-assoziiierter klinischer Daten

6.2.1 Versorgungszeiten und stationärer Aufenthalt

Nach dem Unfallgeschehen sind die Patienten in den ersten 3 Wochen operiert worden. Zwischen Unfall und dorsaler Stabilisierung der Patienten lag im Patientenkollektiv OFFEN ein Mittelwert von 9 Tagen sowie 13 Tagen in der Gruppe MIS vor.

Von beiden Gruppen befanden sich alle Patienten nach der operativen Versorgung 1 Tag unter intensivmedizinischer oder intermediate care-Überwachung. Eine längere Überwachungszeit auf der Intensivstation betraf hierbei lediglich einen Patienten aus der Gruppe OFFEN, was vorrangig auf die Schwere von Begleitverletzungen zurückzuführen war.

Der Mittelwert der Dauer des stationären Aufenthaltes lag bei 21 Tagen mit einer Spanne von 5 bis 41 Tagen in der Gruppe OFFEN sowie von 20 Tagen Mittelwert mit einer Spanne von

10 bis 28 Tagen in der Gruppe MIS (s. Abb. 29).

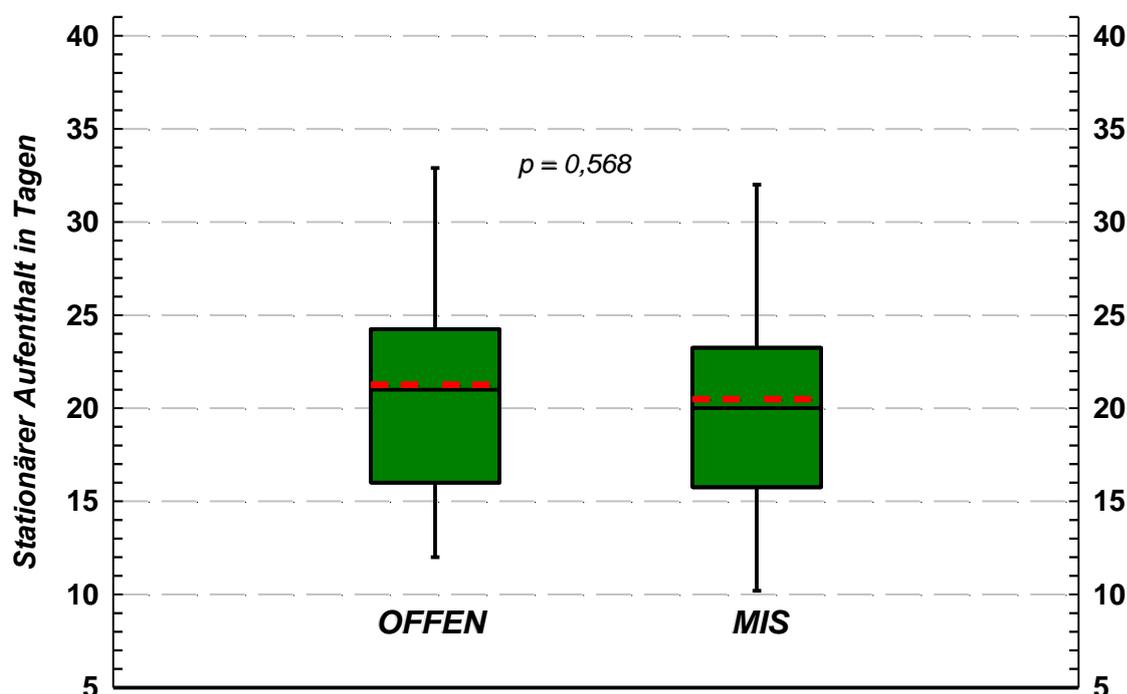


Abbildung 29: Stationäre Aufenthaltsdauer in Tagen in beiden Gruppen. Boxplots mit Mittelwert (---), Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min-Max (┌ ┘). ($p=0,568$)

Folglich waren die Unterschiede der gesamten stationären Aufenthaltsdauer innerhalb den beiden Patientenkollektiven nicht signifikant ($p = 0,568$).

Noch kürzer dauerte der stationäre Aufenthalt in beiden Gruppen nach dem Ausschluss der Patienten mit Begleitverletzungen und der Mittelwert betrug 18,5 Tagen für beiden Gruppen mit einer Spanne von 5 bis 33 Tagen in der Gruppe OFFEN sowie von 10 bis 28 Tagen in der Gruppe MIS.

6.2.2 Neurologische Ausfälle

In beiden Gruppen wurden weder präoperativ noch postoperativ neurologische Ausfälle festgestellt. Es ergab sich somit keine Signifikanz zwischen den Gruppen.

6.2.3 Komplikationen

In der Patientengruppe OFFEN entwickelte sich bei drei Patienten postoperativ eine Anämie, die mit Erythrozytenkonzentraten substituiert wurden. In der gleichen Gruppe zog sich ein Patient durch einen Sturz im stationären Aufenthalt eine periprothetische Oberschenkelfraktur bei der liegenden Hüft-Totalendoprothese zu, die im Verlauf osteosynthetisch versorgt werden musste. In der Gruppe MIS traten hingegen keine Komplikationen auf.

Die operationsbezogenen Komplikationen waren in beiden Gruppen sehr gering (s. Kapitel 6.4.6).

6.3 Aufschlüsselung der perioperativen Daten.

6.3.1 Zugangsverfahren

In der Gruppe OFFEN wurden mittels offenen Verfahrens eine bisegmentale dorsale Stabilisierung und bei insgesamt 18 von 30 Patienten eine gleichzeitige Zementaugmentation der Schrauben sowie eine Kyphoplastie des gebrochenen Wirbelkörpers durchgeführt.

In der Patientengruppe MIS wurde eine minimalinvasive dorsale bisegmentale Stabilisierung durchgeführt. Hierbei wurde zusätzlich bei 20 von 30 Patienten eine Zementaugmentation der Schrauben und die Kyphoplastie des gebrochenen Wirbelkörpers vorgenommen.

6.3.2 Operationsdauer

Der Mittelwert der Operationsdauer in der Gruppe OFFEN betrug 135 Minuten bei einer Zeitspanne zwischen 60 bis 225 Minuten.

Der Mittelwert der Operationsdauer in der Gruppe MIS lag bei 122 Minuten mit einer Zeitspanne zwischen 60 bis 180 Minuten.

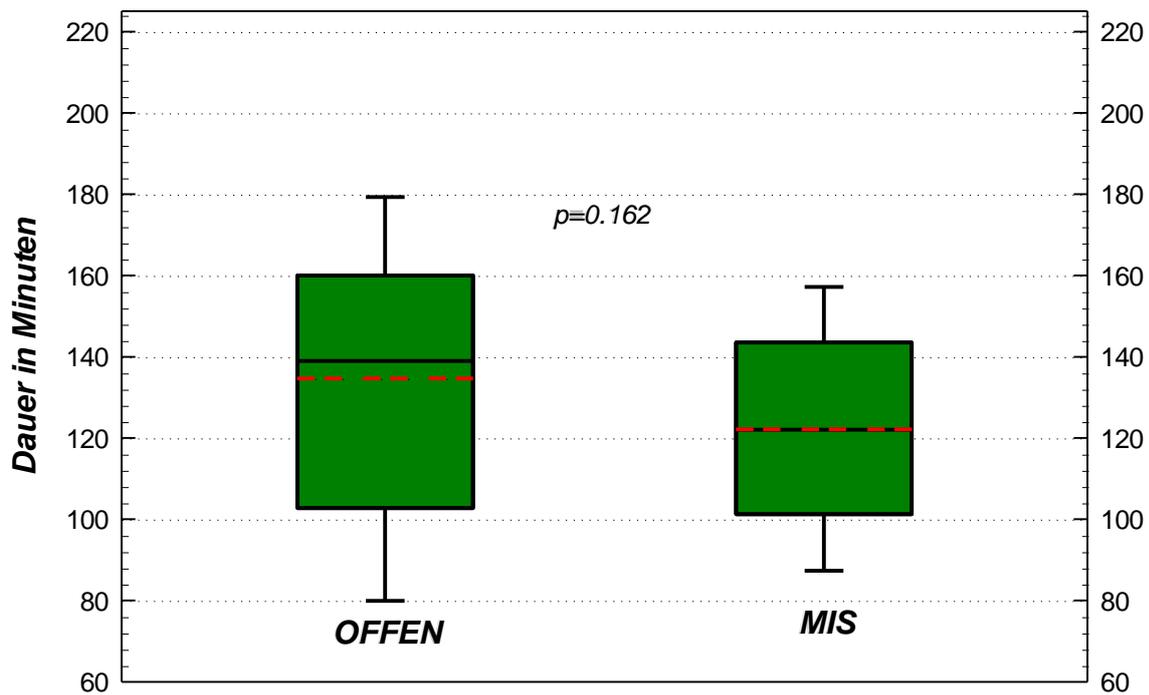


Abbildung 30: Operationsdauer in Minuten für beide Gruppen. Boxplots mit Mittelwert (---), Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min-Max (\perp \top), ($p=0.162$).

Die Operationszeiten in der Gruppe OFFEN waren nicht signifikant länger als in der Gruppe MIS ($p=0,162$).

6.3.3 Blutverlust

Während der dorsalen Stabilisierung durch das offene Verfahren verloren die Patienten deutlich größere Mengen Blut. Die Gruppe OFFEN lag mit einem mittleren Blutverlust von 220 ml bei einer Spanne zwischen 0 – 1000 ml. Der Mittelwert in der Gruppe MIS lag bei 37 ml mit einer Spanne von 0 – 100 ml.

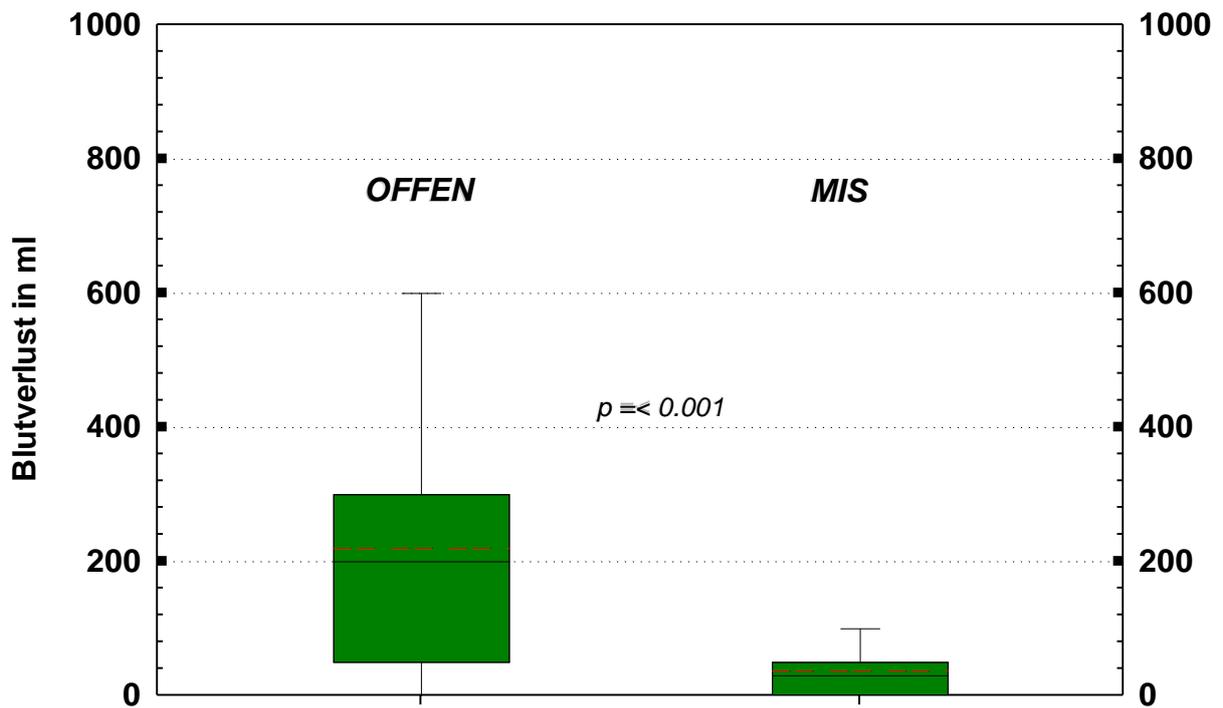


Abbildung 31: Blutverlust in beiden Gruppen. Boxplots mit Mittelwert (---), Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min-Max (\perp \top), ($p \leq 0.001$).

Unsere Arbeit zeigte einen hochsignifikanten Unterschied in beiden Gruppen ($p \leq 0,001$). Postoperativ wurden 3 Patienten in der Gruppe OFFEN mit Erythrozytenkonzentraten substituiert. Hingegen erhielt keiner der Patienten der Gruppe MIS ein Erythrozytenkonzentrat.

6.4 Ergebnisse der radiologischen Repositions- und Instrumentierungsanalysen

6.4.1 Bisegmentaler GDW (Cobb-Winkel)

Um den Repositionsgewinn ermitteln zu können, wurden prä- und postoperativ der bisegmentale Grunddeckplattenwinkel seitlich und a.-p. gemessen. Um den Einfluss der Bauchlagerung auf die Reposition zu beurteilen wurde auch der Grunddeckplattenwinkel intraoperativ gemessen. Ein besonders aussagekräftiger Parameter zur Einschätzung des Repositionsgrades war der sagittale, bisegmentale Grund-Deckplattenwinkel (s. u. Tabelle 5).

	Präoperativ	Intraoperativ nach Bauchlagerung	Postoperativ
OFFEN	-7°	2°	1°
MIS	-4°	3°	5°

Tabelle 5: Mittelwert des bisegmentalen sagittalen Grunddeckplattenwinkels präoperativ, intraoperativ nach der Lagerung und postoperativ in beiden Gruppen (negatives Vorzeichen = kyphotische Stellung).

Die präoperative kyphotische Fehlstellung in der Gruppe OFFEN lag im Mittel bei -7° (SD +/- 10°), intraoperativ nach abgeschlossener Bauchlagerung auf 2° (SD +/- 10°) korrigiert und postoperativ auf 1° (SD +/- 6°) reduziert (s. Abb. 32)

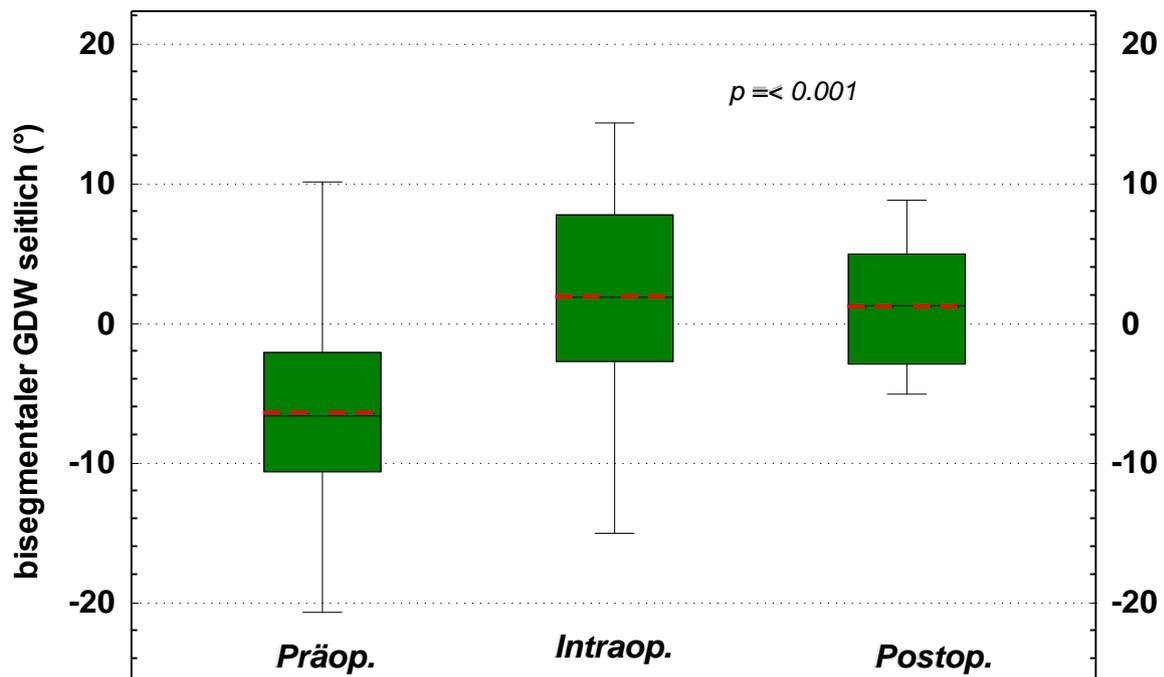


Abbildung 32: Bisegmentaler sagittaler GDW für Gruppe OFFEN präoperativ, intraoperativ nach der Lagerung und postoperativ. Negatives Vorzeichen bedeutet kyphotische Stellung. Boxplots mit Mittelwert (---), Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min-Max (└┘), ($p \leq 0.001$).

Die gemessenen Werte in der Gruppe MIS unterschieden sich davon nur sehr wenig. Der präoperative Kyphosewinkel lag bei -4° (SD $\pm 10^\circ$), intraoperativ nach der Bauchlagerung bei 3° (SD $\pm 8^\circ$) und postoperativ bei 5° Lordose (SD $\pm 7^\circ$) (s. Abb. 33).

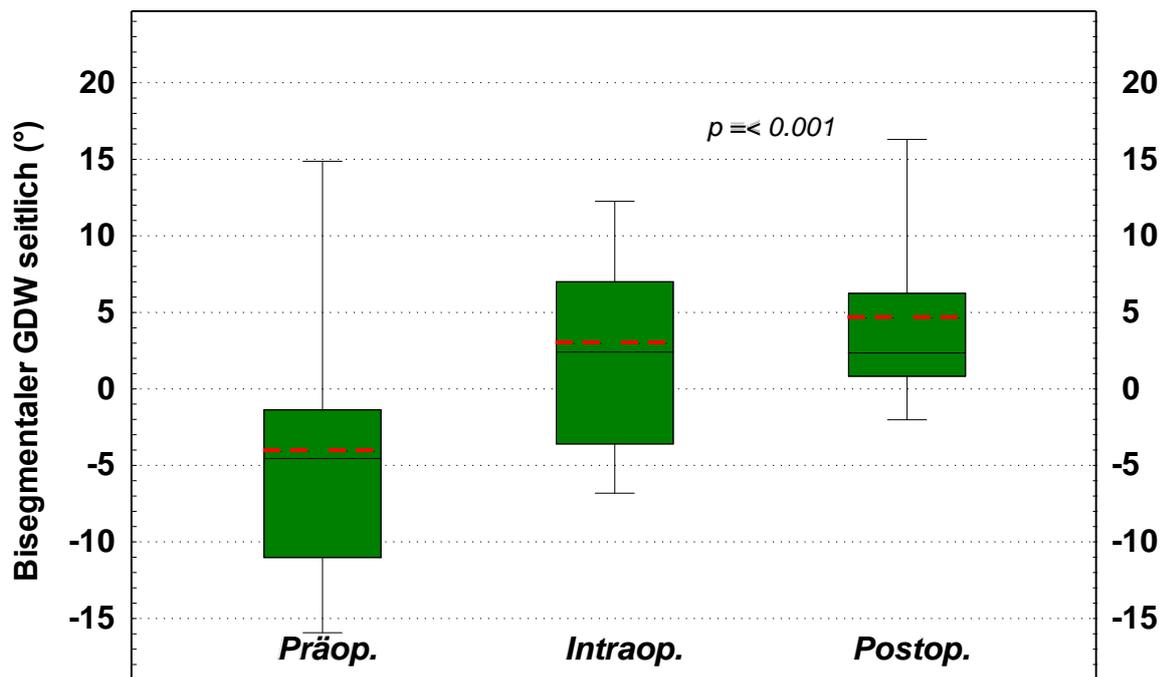


Abbildung 33. Bisegmentaler sagittaler Grunddeckplattenwinkel für Gruppe MIS präoperativ, intraoperativ nach der Lagerung und postoperativ. Negatives Vorzeichen bedeutet kyphotische Stellung. Boxplots mit Mittelwert (- -), Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min-Max (\perp \top), ($p < 0.001$).

Aus diesen Werten berechnet sich das Repositionsausmaß. In der Gruppe OFFEN lag die Korrektur postoperativ im Mittel bei 8° (SD $\pm 7^\circ$) sowie in der Gruppe MIS bei 9° (SD $\pm 7^\circ$) (s. Abb. 34).

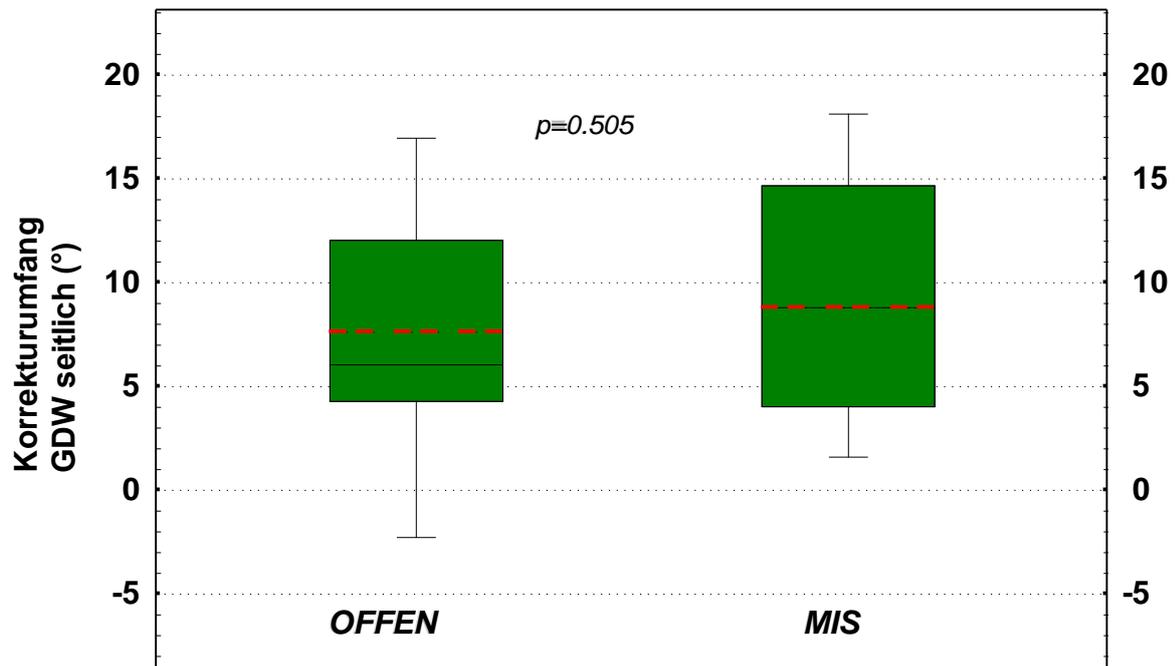


Abbildung 34: Korrekturumfang des bisegmentalen sagittalen Grunddeckplattenwinkels (postoperativ – präoperativ) in den beiden Gruppen. Boxplots mit Mittelwert (---), Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min-Max (┘┗), ($p=0.505$).

Die Werte in den beiden Gruppen unterschieden sich nicht signifikant ($p=0,505$)

Die Korrektur des seitlichen Grunddeckplattenwinkels nach der Bauchlagerung in der Gruppe OFFEN betrug im Mittel $7,5^\circ$ (SD $\pm 8^\circ$) und in der Gruppe MIS 8° (SD $\pm 5,5^\circ$) (s. Abb. 35).

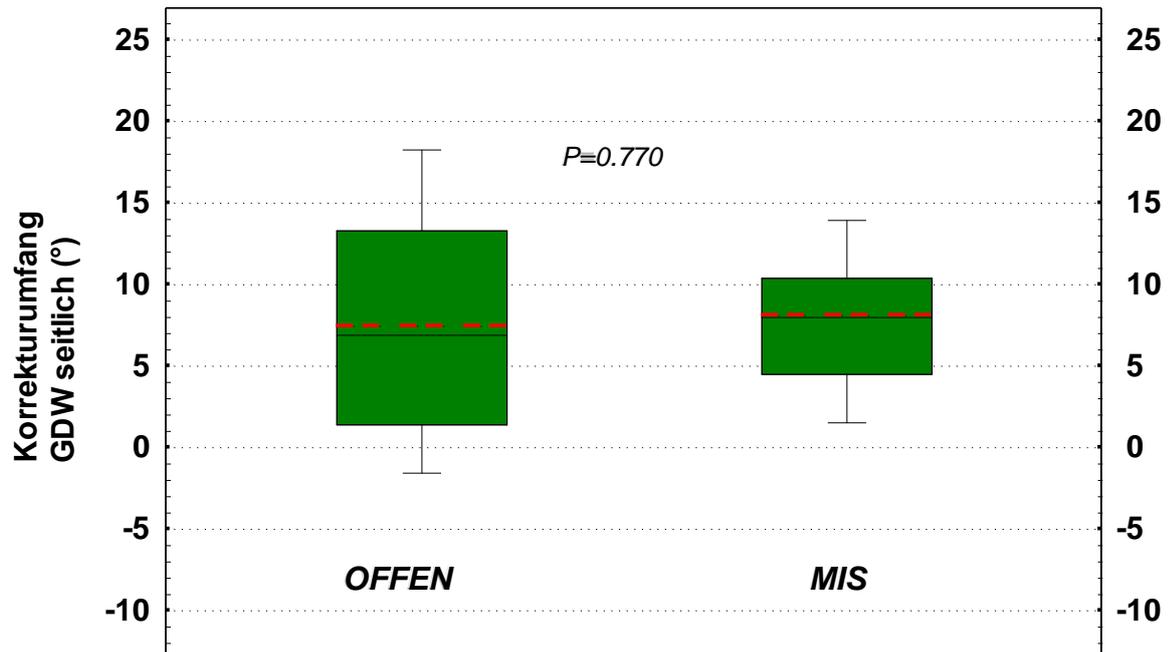


Abbildung 35: Korrekturumfang des bisegmentalen sagittalen Grunddeckplattenwinkels (nach der Bauchlagerung – präoperativ) in den beiden Gruppen. Boxplots mit Mittelwert (---), Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min-Max (\perp \top), ($p=0.770$).

In beiden Gruppen zeigten sich vergleichsweise keine signifikanten Unterschiede ($p= 0,77$).

In keinem der Fälle kam es postoperativ zu einer signifikanten Seitneigung (s. Abb. 36 und 37).

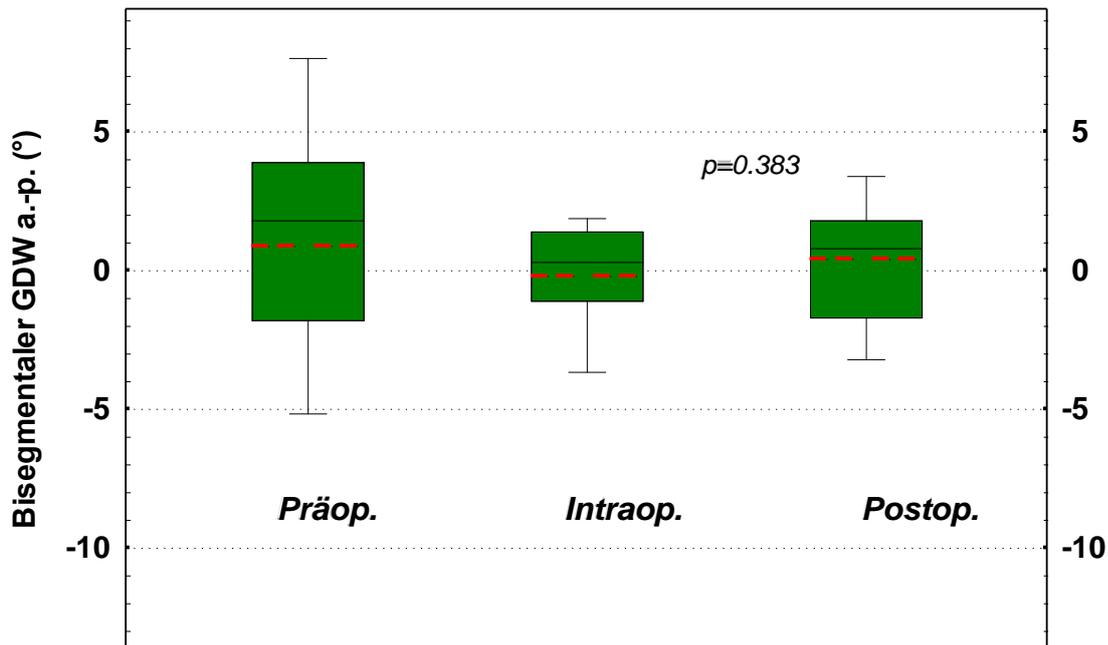


Abbildung 36: Bisegmentaler a.-p. Grunddeckplattenwinkel für Gruppe OFFEN präoperativ, intraoperativ nach der Lagerung und postoperativ. Negatives Vorzeichen bedeutet Konvexität nach links, sowie positives – nach rechts. Boxplots mit Mittelwert (---), Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min-Max (\perp \top). ($p=0.383$).

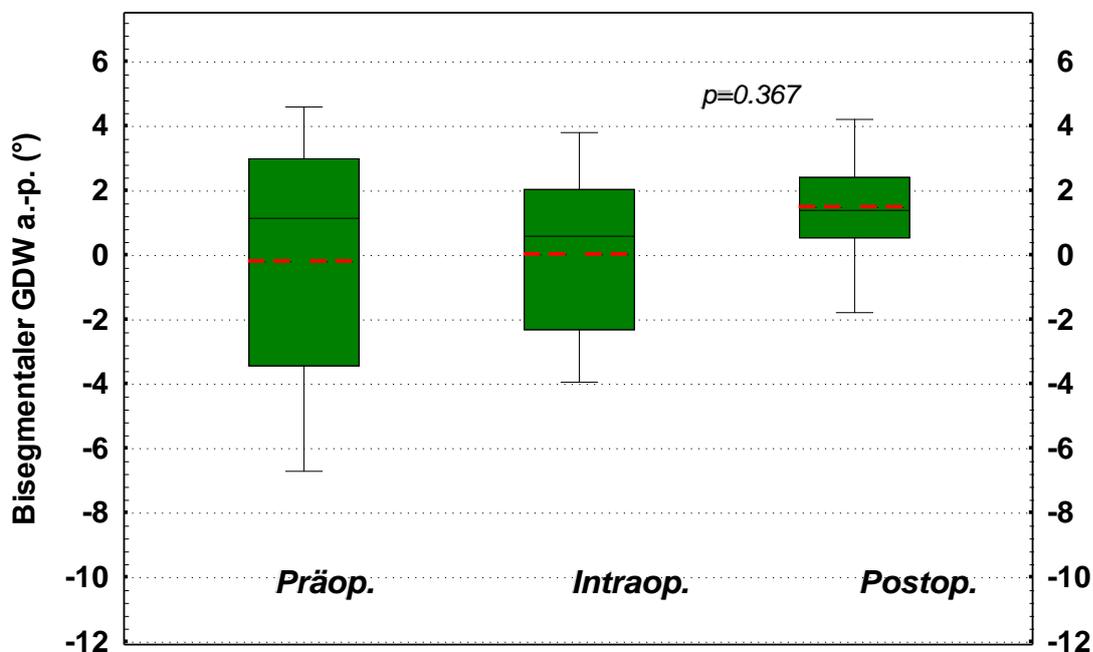


Abbildung 37: Bisegmentaler a.-p. Grunddeckplattenwinkel für Gruppe MIS präoperativ, intraoperativ nach Lagerung und postoperativ. Negatives Vorzeichen bedeutet Konvexität nach links, sowie positives – nach rechts. Boxplots mit Mittelwert (---), Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min-Max (\perp \top). ($p=0.367$).

6.4.2 Körperwinkel und relative Wirbelkörperhöhe

In den beiden Gruppen wurden KW und relative Wirbelkörperhöhe prä- und postoperativ gemessen (s. Tabelle 6).

In der Gruppe OFFEN lag der präoperative KW im Mittel bei 15° (SD +/-6°) und wurde postoperativ auf 4° (SD +/-4°) reduziert. Der Mittelwert der relativen Höhe des Wirbelkörpers betrug 64% (SD +/-16%) und war postoperativ auf 89% (SD +/-11%) aufgerichtet.

In der Gruppe MIS lag der Mittelwert des KWs bei 15° (SD +/-7°) sowie die relative Höhe des Wirbelkörpers bei 60% (SD +/-13%), wobei der KW postoperativ auf 3° (SD +/-3°) und die Höhe des Wirbelkörpers postoperativ auf 85% (SD +/-8%) aufgerichtet war.

	Präoperativ		Postoperativ	
	KW (°)	Rel. WK-Höhe (%)	KW (°)	Rel. WK-Höhe (%)
Offen	15°	64 %	4°	89%
MIS	15°	60%	3°	85%

Tabelle 6: Mittelwert der prä- und postoperativen KW gemessen in ° und relative WK-Höhe ventral in % in der Gruppe OFFEN und der Gruppe MIS.

In beiden Gruppen zeigte sich eine signifikante Besserung des KWs und der relativen Wirbelkörperhöhe postoperativ im Vergleich zum präoperativen Befund ($p < 0,001$).

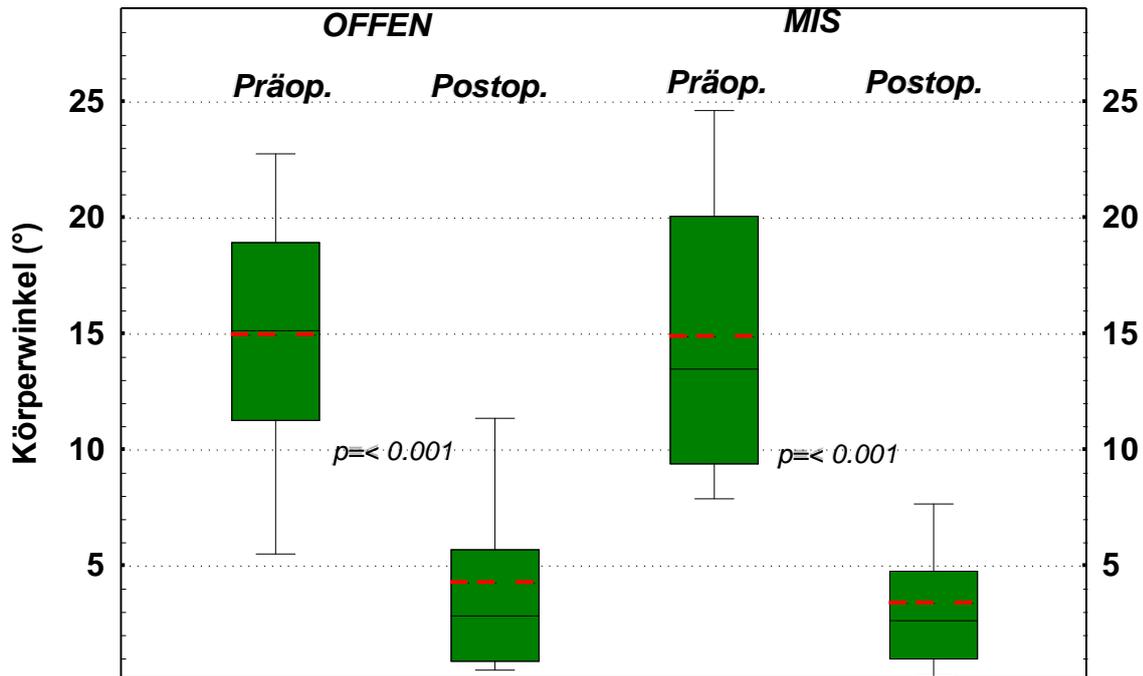


Abbildung 38: Körperwinkel in der Gruppe OFFEN und der Gruppe MIS präoperativ und postoperativ. Boxplots mit Mittelwert (---), Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min-Max (\perp \top). ($p < 0.001$).

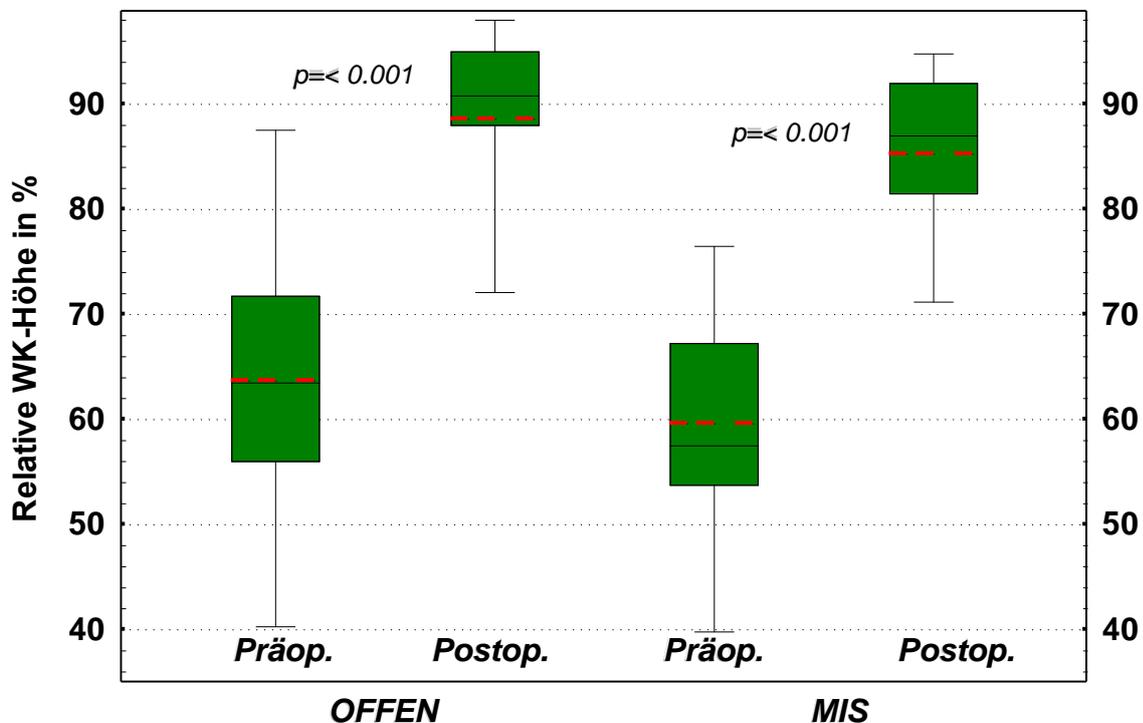


Abbildung 39: Relative WK-Höhe ventral in % in der Gruppe OFFEN und der Gruppe MIS präoperativ und postoperativ. Boxplots mit Mittelwert (---), Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min-Max (\perp \top). ($p < 0.001$).

Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied im Korrekturausmaß zwischen der Gruppe OFFEN gegenüber MIS-Gruppe.

6.4.3 Spinalkanalweite

Ein weiterer wichtiger Parameter zur Einschätzung der Reposition war die Messung des Spinalkanals. In beiden Gruppen war postoperativ eine deutliche Reduktion der Spinalkanaleinengung im Vergleich zur präoperativen Enge festzustellen ($p \leq 0,001$), (s. Abb. 40).

In der Gruppe OFFEN stieg die Spinalkanalweite von durchschnittlich 62% (SD +/-16%) auf 77% (SD +/-16%). In der Gruppe MIS lag der Mittelwert präoperativ bei 59% (SD +/-13%) und betrug postoperativ 69% (SD +/-11%). (s. Tabelle 7).

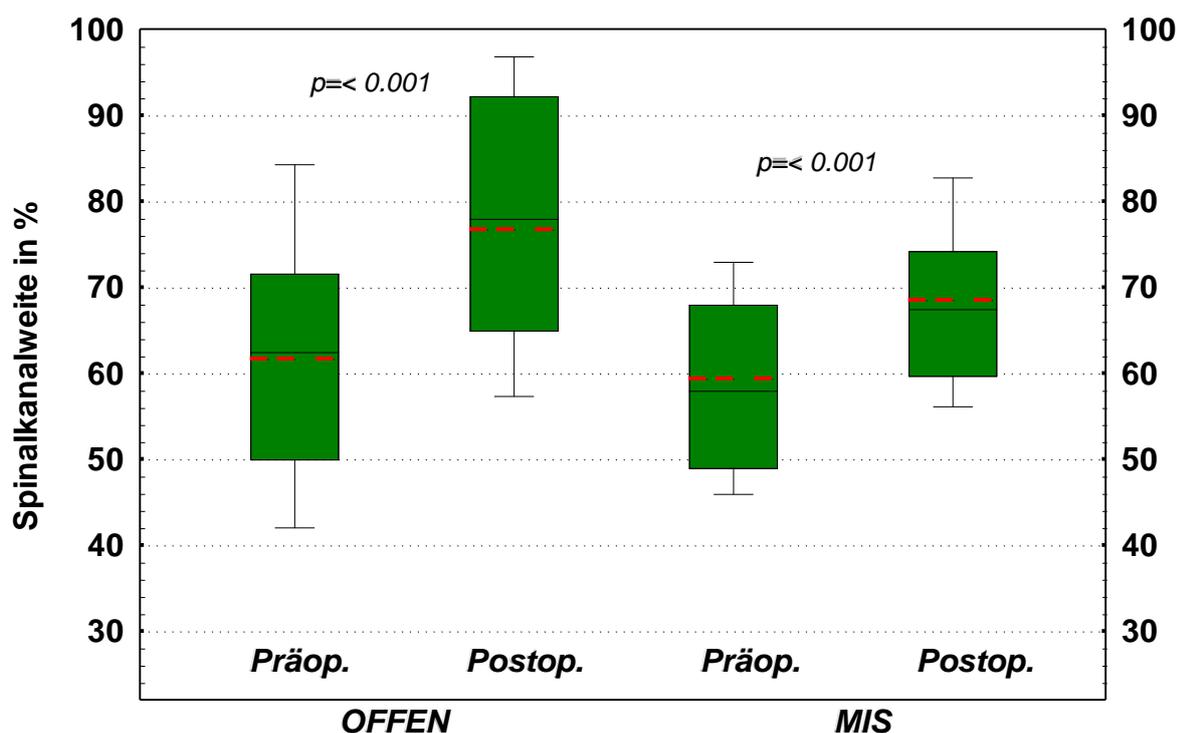


Abbildung 40: Spinalkanalweite in % gemessen präoperativ und postoperativ in der Gruppe OFFEN und der Gruppe MIS. Boxplots mit Mittelwert (---), Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min-Max (┌┐). ($p < 0,001$).

	Präoperativ		Postoperativ	
	(mm)	(%)	(mm)	(%)
Offen	11	62	14	77
MIS	11	59	13	69

Tabelle 7: Mittelwert der prä- und postoperativen Spinalkanalweite gemessen in mm und % in der Gruppe OFFEN und Gruppe MIS.

Aus den prä- und postoperativ gemessenen Werten konnte der postoperativ erzielte Korrekturumfang mit 15% in der Gruppe OFFEN und 9 % in der Gruppe MIS errechnet werden. Dies ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen ($p=0,026$).

6.4.4 Lage der Fixateur-Schrauben

In der Gruppe OFFEN lagen alle Schrauben des Fixateurs in idealer Position (1a nach Zdichavsky). Ähnlich gut war das Ergebnis in der Gruppe MIS bis auf eine einzige Fixateurschraube, die in 1b-Position nach Zdichavsky lag. Eine Korrektur der Schraube war nicht notwendig.

6.4.5 Abstand der Implantatbacken zum Knochen

In der Gruppe OFFEN zeigte sich der in Tabelle 8 angegebene kürzeste Knochen-Backen-Abstand sowie ein Mittelwert von 4 Backen von 4 bis 6 mm mit minimalem Abstand 0 und maximal 13 mm (s. Abb. 41).

	Knochen-Backen-Abstand (Mittelwert in mm)			
	RO	LO	RU	LU
Offen	5	4	6	6
MIS	12	11	13	12

Tabelle 8: Mittelwert des Knochen-Backen-Abstandes in mm in der Gruppe OFFEN und Gruppe MIS. Backen RO – rechts oben, LO – links oben, RU – rechts unten, LU – links unten.

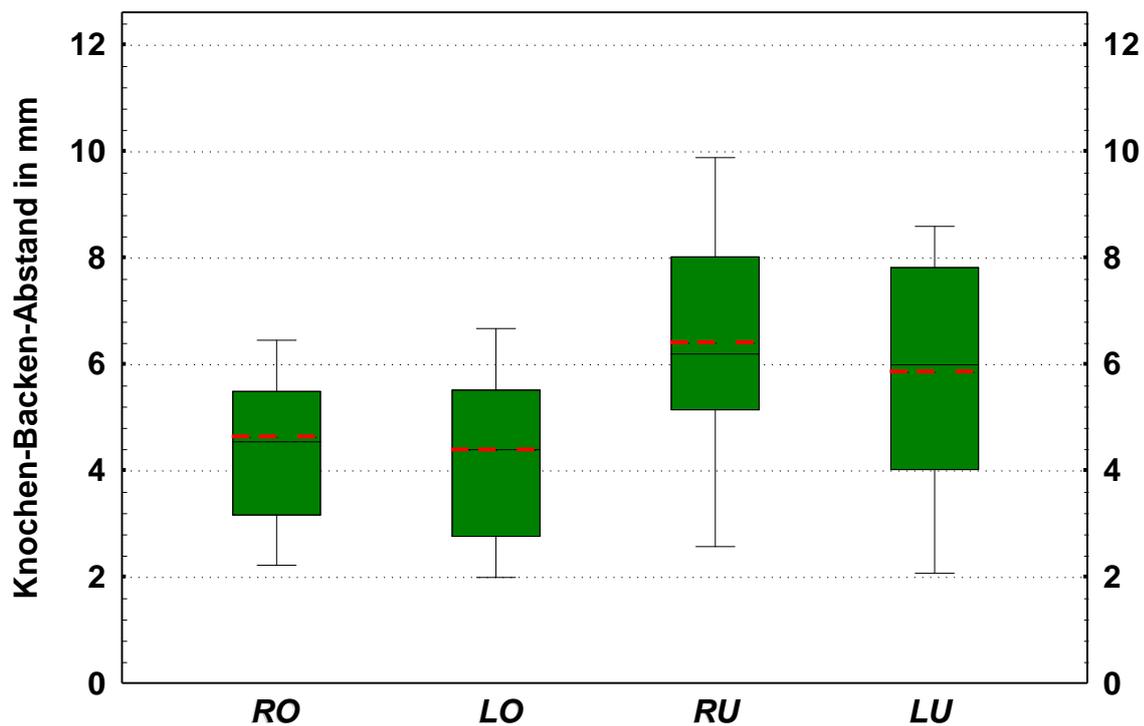


Abbildung 41: Abstand zwischen Knochen und Backen in mm gemessen in der Gruppe OFFEN. Backen RO – rechts oben, LO – links oben, RU – rechts unten, LU – links unten. Boxplots mit Mittelwert (---), Median (—), Quantile 25%-75% (Box) und Min-Max (⊥ ⊤).

In der Gruppe MIS zeigte sich deutlich größerer Abstand im Mittelwert von 11 und 13 mit minimalen und maximalen Abständen von 5 bzw. 24 mm (s. Abb. 42).

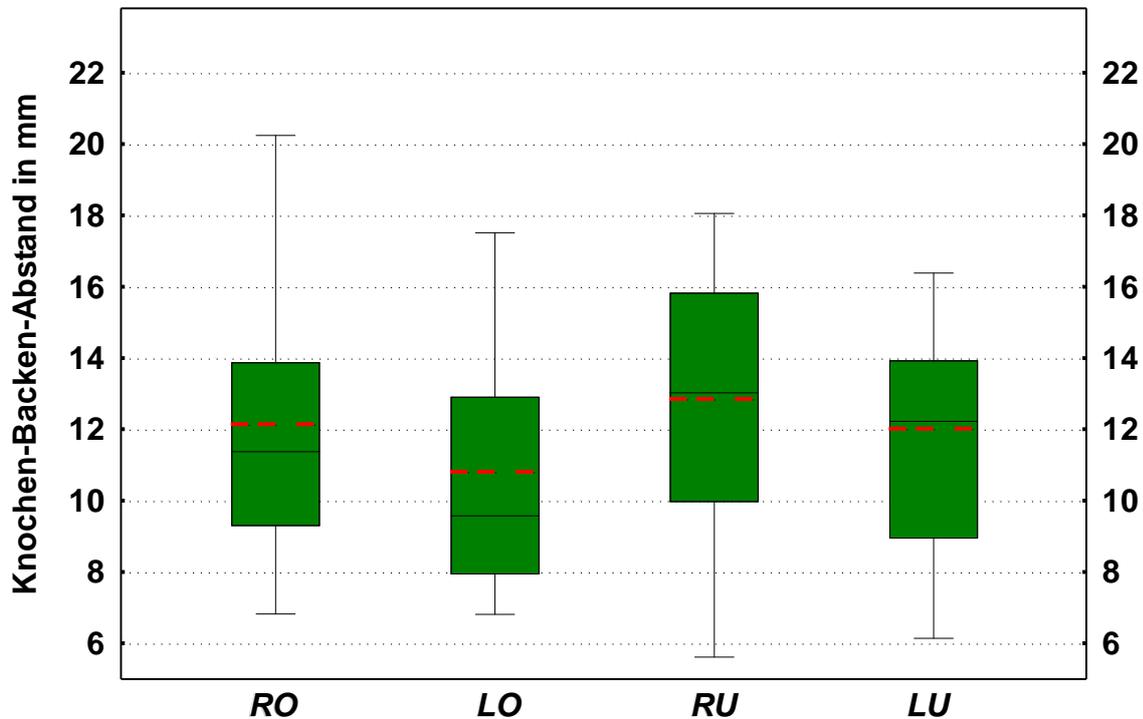


Abbildung 42: Abstand zwischen Knochen und Backen in mm gemessen in der Gruppe MIS. Backen RO – rechts oben, LO – links oben, RU – rechts unten, LU – links unten. Boxplots mit Mittelwert (---), Median (-), Quantile 25%-75% (Box) und Min-Max (\perp \top).

Nach dem Vergleich beide Patientenkollektiven war der Unterschied statistisch mit $p < 0,001$ hoch signifikant und betrug der Mittelwert von 12 mm mit minimalen und maximalen Abständen von 5 bzw. 24 mm in der Gruppe MIS und 5 mm Mittelwert mit minimalen und maximalen Abständen von 0 bzw. 13 mm in der Gruppe OFFEN.

6.4.6 Leckage

In der Gruppe OFFEN wurden bei 18 von 30 Patienten die Fixateurschrauben durch Zement augmentiert. Bei einem der in dieser Gruppe eingeschlossenen Patienten ergab sich eine minimale paravertebrale Leckage an einer Schraube.

Innerhalb der Gruppe MIS wurden bei 20 von 30 Patienten die Fixateurschrauben durch

Zement augmentiert, wobei eine minimale paravertebrale Leckage der Schrauben in 6 Fällen festgestellt wurde.

In beiden Gruppen waren die Leckagen so gering, dass keine Revision erfolgen musste.

7. Diskussion

Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs stellen zahlenmäßig die häufigste Instabilität der Wirbelsäule dar. Die dorsale Instrumentierung der instabilen Wirbelsäulenverletzung stellt in der Akutsituation das Verfahren der ersten Wahl dar. Die offene dorsale Instrumentierung repräsentiert das Standardverfahren in zahlreichen Kliniken und ermöglicht, insbesondere durch die langen Hebelarme, die exakte Reposition im Sinne der Lordosierung wie auch die ggf. notwendige Wiederherstellung der Höhe des verletzten Wirbelkörpers durch die entsprechende Distraction. Die minimalinvasive, dorsale Stabilisierung hat sich jedoch in den letzten Jahren zunehmend durchgesetzt und bietet im Vergleich zum offenen Verfahren zahlreiche Vorteile, wie beispielsweise einen geringeren Gewebeschaden und niedrigeren Blutverlust.

Fraglich war hierbei, ob man mit der minimalinvasiven dorsalen Stabilisierung eine adäquate Reposition von kyphosierten Wirbelsäulenfrakturen, sowie eine Wiederherstellung des Körperwinkels und eine indirekte Reposition der Hinterkante des frakturierten Wirbelkörpers im thorakolumbalen Übergangsbereich erreichen kann.

Zwischenzeitlich wurden multiple Systeme für die minimalinvasive Methodik entwickelt, durch die eine komplette Wiederherstellung der physiologischen Wirbelsäulenkrümmung erreicht werden kann.

In der vorliegenden Studie wurden 60 Patienten mit frischen, traumatisch bedingten Verletzungen des thorakolumbalen Überganges ausgewertet, bei denen die Indikation zur dorsalen Stabilisierung bestand. Für beide Gruppen wurden epidemiologische, klinische und radiologische Daten erhoben und ausgewertet.

Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse stehen nun vorrangig die Frühergebnisse der Reposition und Instrumentierung beider Verfahren im Zentrum der folgenden Diskussion.

7.1 Diskussion der Ergebnisse allgemeiner und Operations-assoziiertes klinischer Patientendaten

7.1.1 Stationärer Aufenthalt

Die Aufenthaltsdauer eines Patienten im Krankenhaus ist abhängig von vielen verschiedenen Faktoren wie z. B. Begleitverletzungen, Vorerkrankungen und der poststationären Versorgung. In der vorliegenden Arbeit war die stationäre Aufenthaltsdauer beider Gruppen mit einem Mittelwert von 21 Tagen in der Gruppe OFFEN und 20 Tagen in der Gruppe MIS nicht signifikant.

Einen Überblick der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit und Vergleichsstudien liefert Tabelle 9.

	OFFEN	MIS
Eigene Daten	21.3 (\pm 7.9)	20.5 (\pm 8.4)
Ericksen et al. [28]	11 (\pm 4.7)	11.3 (\pm 8,4)
Afolabi et al. [1]	12.4 (\pm 12.7)	14.3 (\pm 14.5)
Wang et al. [114]	20.7 (\pm 5.2)	9.4 (\pm 3.2)
Reinhold et al. [91]	19 (-)	—
Knop et al. [50.1]	36 (-)	—

Tabelle 9: Stationärer Aufenthalt [Tage] bei offener und minimalinvasiver Gruppe eigener und verschiedener Studien – Mittelwert (\pm SD).

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stehen weitestgehend im Einklang mit den Studien von Erichsen et al. [28] und von Afolabi et al. [1], die ebenfalls keinen Unterschied in der Aufenthaltsdauer zwischen diesen Gruppen feststellten, jedoch insgesamt eine kürzere Gesamtaufenthaltsdauer aufwiesen. Im Gegensatz dazu zeigt die Studien von Wang et al. [114], dass die Dauer des stationären Aufenthaltes zwischen den Gruppen mit 9,4 Tagen in der MIS-Gruppe und 20,7 Tagen in der Gruppe OFFEN unterschiedlich sein kann. Aus unserem Gebiet zeigte in der Gruppe OFFEN die Studien von Reinhold et al. [91] fast gleiches Ergebnis mit 19 Tagen und deutlich längere Aufenthaltsdauer mit 36 Tagen Mittelwert die Studien von Knop et al. [50.1] Die beschriebenen Unterschiede der vorliegenden Ergebnisse zu den Ergebnissen anderer Studien ist möglicherweise durch die eingangs beschriebenen Faktoren zu erklären und deren Einfluss in Folgeuntersuchungen weitergehend analysiert werden sollte. Z. B. in Studien von Erichsen et al. [28] wurden die Patienten mit Alter von 18 bis 65 Jahre und mit frischen Frakturen <4 Wochen nach Unfall eingeschlossen.

7.1.2 Operationsdauer

Hinsichtlich der Operationsdauer spielen mehrere Faktoren wie, z. B. der organisatorische Ablauf im Krankenhaus, komplexe technische Aufrüstung der Operation und auch Erfahrung des Operateurs bzw. Ausbildungseingriffe an einer Uniklinik, eine Rolle.

Mit dem vermehrten Einsatz des minimalinvasiven Verfahrens ist eine deutliche Reduktion der Operationszeit zu beobachten. Während nach Einführung des minimalinvasiven Verfahrens noch deutlich längere Operationszeiten einkalkulieren musste, hat sich die Operationsdauer heutzutage deutlich reduziert. Inzwischen liegen mehrere Studien vor, die Operationszeiten zwischen offenen und minimalinvasiven Verfahren vergleichen. Die Tendenz zeigt, dass die minimalinvasiven Operationen kürzere Zeiten in Anspruch nehmen als die offenen. Eine Gegenüberstellung ist unten in der Tabelle 10 aufgeführt. Dies konnte durch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit, die einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen aufwies, bestätigt werden.

	OFFEN	MIS
Eigene Daten	135 (± 38.7)	122 (± 28.1)
Erichsen et al. [28]	106.7 (± 31.1)	63.5 (± 22.3)
Afolabi et al. [1]	157.5 (± 77)	109 (± 63.3)
Kocis et al. [51]	52 (-)	49.7 (-)
Wang et al. [114]	180 (± 51)	122 (± 30)
Vanek et al. [71]	53 (± 10)	60 (± 9)
Dong et al. [71]	51.7 (± 11.2)	49.1 (± 7.5)
Lee et al. [71]	83.2 (± 26.1)	154.9 (± 39.2)
Wild et al. [119]	80.9 (± 18.3)	87 (± 17.6)
Grass et al. [38]	100 (± 39)	85 (± 18)
Reinhold et al. [89]	139 (-)	—
Weiß et al. [117]	—	88 (-)

Tabelle 10: Operationsdauer in Minuten bei offener und minimalinvasiver Gruppe eigener und verschiedener Studien – Mittelwert (\pm SD).

7.1.3 Blutverlust

Meistens wird die Flüssigkeit im Saugbehälter sowie in Kompressen und Bauchtüchern zur Bestimmung des Blutverlustes gemessen. Das tatsächlich Blutvolumen in Kompressen und Bauchtüchern wird jedoch hierbei nicht erfasst. Hinzu kommt noch die Blutmenge, die sich

postoperativ in den einliegenden Drainagen sammelt. Daher werden Blutverluste insbesondere bei den konventionellen, offenen Verfahren eher unterschätzt.

Bei den minimalinvasiven Zugängen werden keine Schwämme bzw. Tücher verwendet. Es werden auch keine Drainagen in die Wunden eingelegt. Daher sind die Messungen des Blutverlustes bei diesen Eingriffen meist besser zu quantifizieren.

In der vorliegenden Studie wird Blutverlust als die in der Absaugpumpe befindliche Menge Blut nach dem Wundverschluss definiert. In der Gruppe OFFEN zeigte sich mit 220 ml ein signifikant höherer Blutverlust als in der Gruppe MIS (37 ml). Diese Ergebnisse sind im Einklang mit anderen Studien, die neben intraoperativen Daten auch den perioperativen Blutverlust, das heißt die Blutmenge in der Absaugpumpe nach der Hautnaht plus Flüssigkeitsmengen in Drainagen bis zum Zug der Drainagen, verglichen (s. Tabelle 11).

Der allgemein geringere Blutverlust bei minimalinvasiver Instrumentierung wird am ehesten dadurch minimiert, dass die anatomischen Verhältnisse durch das stumpfe Auseinanderdrängen der Muskulatur und der Weichteile gewahrt werden.

	OFFEN	MIS
<i>Eigene Daten</i>	220 (± 228)	37 (± 35.5)
<i>Afolabi et al. [1]</i>	602 (± 489)	136.5 (± 141)
<i>Kocis et al. [51]</i>	328.7 (-)	29 (-)
<i>Wang et al. [114]</i>	591.5 (± 340)	99.3 (± 44.3)
<i>Wild et al. [119]</i>	380 (± 198.9)	194.4 (± 72.6)
<i>Grass et al. [38]</i>	870 (± 177)	40 (± 15)

Tabelle 11: Blutverluste in ml bei offener und minimalinvasiver Gruppe eigener und verschiedener Studien – Mittelwert (\pm SD).

7.2 Diskussion der Ergebnisse radiologischer Repositions- und Instrumentierungsanalysen

Der Erfolg der durchgeführten Maßnahmen hängt von der erreichten Reposition und korrekten Instrumentierung ab. Durch das a.-p. und seitliche Profil der Wirbelsäule, des KWs und der relativen Wirbelkörperhöhe sowie die Spinalkanalweite wird der Repositionserfolg gemessen. Der Instrumentierungserfolg wird vor allem durch die Schraubenplatzierung, den Knochen-Backen-Abstand und die Leckage bei Zementaugmentation oder gleichzeitigen Kyphoplastie des gebrochenen Wirbelkörpers abgebildet.

7.2.1 Bisegmentaler Grunddeckplattenwinkel (biGDW)

In unserer Untersuchung lagen präoperativ die Werte in der Gruppe OFFEN im Mittel bei 1° bzw. 0° in der Gruppe MIS. Die postoperativ gemessenen Werte beliefen sich im Mittel auf 0 in der Gruppe OFFEN und auf 2° in der Gruppe MIS. Die Unterschiede zwischen beiden Gruppen waren nicht signifikant. Einschränkend muss hier erwähnt werden, dass der a.-p. GDW in den meisten Studien der vorliegenden Literatur nur eingeschränkt verwendet wird, weil in dieser Größenordnung als irrelevant anerkannt.

Wesentlich bedeutsamer ist der sagittale GDW, da hier deutlich größere Fehlstellungen und Unterschiede erkennbar sind. Analog hierzu war dieser GDW in den vorliegenden Untersuchungen prä- und postoperativ mit $(-)$ 7° und 1° in der Gruppe OFFEN, sowie $(-)$ 4° und 5° in der Gruppe MIS eindrücklicher. D. h. der Korrekturumfang lag in der Gruppe OFFEN bei 8° und in der Gruppe MIS bei 9° . Wenngleich der Korrekturumfang nicht signifikant unterschiedlich war, so ist doch hervorzuheben, dass ein minimalinvasives Verfahren mindestens die gleiche Korrektur des GDW in sagittaler Richtung ermöglicht und somit das invasivere, offene Verfahren zumindest diesbezüglich keinen Vorteil durch die nicht sperrenden Weichteile bietet.

Ähnliche Ergebnisse zeigte Erichson et al., die den Korrekturumfang des seitlichen GDWs bei offener dorsaler Stabilisierung bei 43 Patienten und perkutaner dorsaler Stabilisierung bei 44 Patienten verglichen und einen mittleren Korrekturumfang von $5,4^\circ$ (OFFEN) bzw. $6,3^\circ$ (MIS) zeigten [28].

Unsere Ergebnisse für Gruppe OFFEN waren weitestgehend im Einklang mit der Studie von Reinhold et al. [91] und Knop et al. [50.1].

Kocis et al. zeigten in ihrer Studie ebenfalls keine signifikanten Unterschiede im Korrekturumfang beider Gruppen (OFFEN ca. 16° , MIS ca. $15,5^\circ$) [51].

Tabelle 12 gibt einen Überblick über die Repositionsergebnisse des bisegmentalen, seitlichen GDWs der vorliegenden Studie im Vergleich zu ähnlichen Studien.

	OFFEN	MIS
Eigene Daten	8 (± 6.6)	9 (± 6.9)
Ericksen et al. [28]	5.4 (± 8.1)	6.3 (± 8.5)
Kocis et al. [51]	15.9 (-)	15.4 (-)
Wang et al. [118]	21.8 (-)	21.7 (-)
Reinhold et al. [91]	10	—
Knop et al. [50.1]	8 (± 7.3)	—
Weiß et al. [117]	—	6.8 (-)

Tabelle 12: Korrekturumfang des bisegmentalen sagittalen Grunddeckplattenwinkels (postoperativ – präoperativ) [°] bei offener und minimalinvasiver Gruppe eigener und ähnlicher Studien – Mittelwert (\pm SD).

Im Vergleich zu den Daten der vorliegenden Arbeit zeigte die Studie von Kocis et al. [51] und Wang et al. [118] einen Korrekturumfang um 2-3fach höher. Um die Lockerung oder Ausbruch der Fixateur interne bei höheren Patientenalter zu vermeiden erfolgte von unserer Seite keine übermäßige Lordosierung. Das Durchschnittsalter in der Gruppe OFFEN betrug 66 Jahre mit einer Spanne von 22 bis 83 Jahren und in der Gruppe MIS 67 Jahre mit einer Altersspanne von 21 bis 91 Jahren. In beiden o. g. Studien waren beide Gruppen deutlich jünger. Es kann vermutet werden, dass diese Unterschiede im Vergleich zu den Ergebnissen der vorliegenden Studie daraus resultieren.

7.2.2 Einfluss der Lagerung hinsichtlich des Repositionserfolges

Bei beiden operativen Stabilisierungsmethoden werden die Patienten auf dem Bauch gelagert und nach Unterpolsterung von Thorax und Becken erfolgt eine Reposition des thorakolumbalen Bereichs durch den ventralen Aushang. Das Repositionsmanöver wird durch den Zug am Becken und Gegenzug an den Schultern sowie durch den Gegendruck von dorsal auf Verletzungshöhe verstärkt. Grass et al. berichteten über die Rolle der Lagerung für die Reposition des thorakolumbalen Übergangsbereiches. Von insgesamt 57 Patienten wurden 33 perkutan und 24 Patienten mittels konventionell offenem Zugang versorgt, wobei 27 Patienten von 33 perkutan versorgten Patienten die physiologische Krümmung der LWS allein über eine optimierte Lagerung erreicht wurde [38].

In beiden Gruppen der vorliegenden Studie wurde annähernd die gesamte Korrektur durch die Lagerung erreicht. Die Korrektur des seitlichen Cobb-Winkels nach der Bauchlagerung betrug im Mittel in der Gruppe OFFEN 7,5° und in der Gruppe MIS 8°. Dementsprechend der Korrekturumfang in beiden Gruppen postoperativ annähernd gleich zu den Ergebnissen nach Bauchlagerung unmittelbar vor Beginn des Eingriffs (s. Tabelle 13). Diese Ergebnisse unterstreichen somit den hohen Stellenwert der präoperativen Lagerung des Patienten im Operationssaal.

	Bauchlage	Postoperativ
OFFEN	7.5° ($\pm 7.9^\circ$)	7.6° ($\pm 6.6^\circ$)
MIS	8.1° ($\pm 5.5^\circ$)	8.8° ($\pm 6.9^\circ$)

Tabelle 13: Korrekturumfang des bisegmentalen sagittalen GDWs nach Bauchlagerung (Bauchlage – präoperativ) und postoperativ (postoperativ – präoperativ) [°] bei offener und minimalinvasiver Gruppe – Mittelwert (\pm SD).

7.2.3 Körperwinkel und relative Wirbelkörperhöhe

In der vorliegenden Arbeit wurden für beide Operationsverfahren präoperative Daten des Körperwinkels und der Wirbelkörperhöhe mit postoperativen Messungen nach Reposition verglichen.

Der Mittelwert des Körperwinkels präoperativ in der Gruppe OFFEN betrug 15° in Kyphosestellung sowie für die Gruppe MIS 15°. Somit waren die Ausgangsbedingungen für die Reposition bzw. den Eingriff für beide Gruppen vergleichbar. Postoperativ verbesserte sich der Winkel deutlich und betrug 4° in der Gruppe OFFEN und 3° in der Gruppe MIS. Der Korrekturwinkel betrug somit für die Gruppe OFFEN 11° und für die Gruppe MIS 12°. Der Unterschied des Korrekturwinkels war nicht signifikant. Diese Ergebnisse waren vergleichbar mit der Untersuchung von Wang et al., die Werte in der offenen konventionellen Gruppe mit 49 Patienten mit denen der minimalinvasiven Gruppe von 56 Patienten verglichen: In der Gruppe OFFEN betrug der Körperwinkel präoperativ 20,4° und postoperativ 9,6°. In der minimalinvasiven Gruppe verbesserte sich dieser Winkel von 19,3° auf 8,6°. Der Korrekturumfang war in beiden Gruppen gleich und betrug ca. 11° [114] (s. Tabelle 14).

	OFFEN			MIS		
	<i>Präop.</i>	<i>Postop.</i>	<i>Korrektur- umfang</i>	<i>Präop.</i>	<i>Postop.</i>	<i>Korrektur- umfang</i>
<i>Eigene</i>	15 (± 6.1)	4 (± 4.6)	11	15 (± 6.5)	3 (± 3)	12
<i>Wang et al. [114]</i>	20.4 (± 4.9)	9.6 (± 3.1)	10.8	19.3 (± 5.2)	8.6 (± 3.1)	10.7
<i>Wild et al. [119]</i>	18.1 (± 3.5)	5.9 (± 2)	12.2	13.7 (± 3.7)	6.1 (± 4.5)	7.6

Tabelle 14: Körperwinkel präoperativ und postoperativ, sowie Korrekturumfang postoperativ in ° bei offener und minimalinvasiver Gruppe eigener und verschiedener Studien – Mittelwert (\pm SD).

Im Gegensatz dazu zeigte die Studie von Wild et al., in der insgesamt 21 Patienten eingeschlossen wurden (11 Patienten mit offenem Eingriff und 10 Patienten mit minimalinvasivem Eingriff), dass der Korrekturumfang in der offenen Gruppe ca. 12° und in der minimalinvasiven Gruppe ca. 8° betrug [119]. Es kann vermutet werden, dass diese

Unterschiede zwischen den Gruppen und auch im Vergleich zu den Ergebnissen der vorliegenden Studie daraus resultieren, dass zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Studie von Wild et al., das minimalinvasive Verfahren noch relativ neu war und das MIS-Instrumentarium noch nicht entwickelt war, so dass das Repositionspotenzial damals nicht vollständig ausgeschöpft wurde. Zudem ist es möglich, dass der Stellenwert der korrekten Lagerung beim minimalinvasiven Verfahren damals noch nicht ausreichend hoch eingestuft wurde.

In unserer Studie wurde die vordere Wirbelkörperhöhe prozentual verglichen mit der anatomischen Ausgangshöhe angegeben. Die präoperativ gemessenen Werte der Wirbelkörperhöhe betragen 64% in der Gruppe OFFEN und 60% in der Gruppe MIS. Dieser Wert verbesserte sich postoperativ bis 89% (OFFEN) bzw. 85% (MIS). Der Korrekturumfang lag in den beiden Gruppen bei 25% und war somit gleich. Diese Ergebnisse waren zudem weitestgehend im Einklang mit der Studie von Wang et al., die einen Korrekturumfang von 33,6% für die offene Gruppe sowie 30,5% für die minimalinvasive Gruppe beschrieb [114]. Hingegen beschrieben Wild et al. in ihren Untersuchungen etwas größere Unterschiede im Korrekturumfang (OFFEN 38%, MIS 20%) [119].

Einen genauen Überblick gibt die Tabelle 15.

	OFFEN			MIS		
	<i>Präop.</i>	<i>Postop.</i>	<i>Korrektur- umfang</i>	<i>Präop.</i>	<i>Postop.</i>	<i>Korrektur- umfang</i>
Eigene	64 (± 15.6)	89 (± 11.3)	25	60 (± 12.9)	.85 (± 8.2)	25
Wang et al. [114]	58.6 (± 16.1)	92.2 (± 8.3)	33.6	61 (± 15.3)	91.5 (± 9.1)	30.5
Wild et al. [119]	–	–	38.3	–	–	20.1

Tabelle 15: Relative WK-Höhe ventral präoperativ und postoperativ, sowie Korrekturumfang postoperativ in % bei offener und minimalinvasiver Gruppe eigener und verschiedener Studien – Mittelwert (\pm SD).

Nach dem Vergleich der Werte beider Gruppen in den vorliegenden und ähnlichen

Untersuchungen lässt sich feststellen, dass die vollständige Reposition des Körperwinkels und auch der Wirbelkörperhöhe durch die minimalinvasive Stabilisierung in gleichem Maße wie durch die offene Stabilisierung erreichbar ist.

7.2.4 Spinalkanalweite

Sowohl durch die offene als auch die minimalinvasive dorsale Stabilisierung kann eine indirekte Spinalkanaldekompensation erreicht werden. Der gebrochene Wirbelkörper wird nach der Bauchlagerung sowie durch das mittels fixierter Frakturbacken gesicherte Distraktionsmanöver aufgerichtet und der Anulus sowie das hintere Längsband gespannt. Durch Ligamentotaxis werden nach hinten verlagerte Fragmente dadurch in ihre natürliche Position zurückgeschoben.

In unserer Studie lag präoperativ die Spinalkanalenge bei einem mittleren Wert von 38% in der Gruppe OFFEN und 41% in der Gruppe MIS und konnte postoperativ auf 23% in der Gruppe OFFEN und 30% in der Gruppe MIS korrigiert werden. Daraus errechnete sich ein Korrekturumfang im Mittel von 15% in der Gruppe OFFEN und 11% in der Gruppe MIS. Die Korrekturumfänge für beide Verfahren waren nicht signifikant unterschiedlich und hatten keine klinische Relevanz, da keine Patienten mit neurologischen Ausfällen eingeschlossen wurden.

In der Literatur werden postoperativ verbliebene Engstellen im thorakolumbalen und lumbalen Bereich von bis zu 25 bzw. 30% ohne neurologisches Defizit als unproblematisch angesehen, da sie sich erfahrungsgemäß durch ein sogenanntes Remodeling über die Jahre zurückbilden [56, 57, 100].

7.2.5 Platzierung der Pedikel-Schrauben

Beim Einbringen der Schrauben in die Pedikel bestehen die häufigsten Komplikationen in der Fehllage der Pedikelschrauben sowie Pedikelfrakturen. Zdichavsky bietet eine geeignete Klassifikation für die Pedikelschraubenlage. Die Lage der Pedikelschrauben wird anhand der postoperativ durchgeführten CT-Untersuchung beurteilt. Hierbei gilt die Fehllagen der Pedikelschrauben von Grad III mit oder ohne neurologisches Defizit als revisionsbedürftig (s. Abb. 21 und Tabelle 2).

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung konnte gezeigt werden, dass die Platzierung der Schrauben während der minimalinvasiven Stabilisierung im Vergleich zur offenen Stabilisierung keine vermehrten Fehllagen zeigt, obwohl die Darstellung des Eintrittspunktes

während des minimalinvasiven Eingriffs für den Operateur zweifelsohne erschwert ist. Dementsprechend kamen in der Gruppe OFFEN kamen alle 120 Schrauben in Idealposition (1A nach Zdichavsky) zu liegen. In der Gruppe MIS lagen 119 Schrauben in Idealposition (1A nach Zdichavsky) und eine Schraube in ebenfalls korrekter in 1B-Position.

Bezüglich der Pedikelschraubenlage zeigten sich auch gute Ergebnisse in anderen Arbeiten. In der Arbeit von Grass et al. lagen 94% der Pedikelschrauben in der Gruppe MIS und 88% in der Gruppe OFFEN korrekt (1A nach Zdichavsky), 5% (MIS) bzw. 8% (OFFEN) der Schrauben perforierten die laterale Wand des Pedikels (1B nach Zdichavsky), bei der Gruppe MIS lag eine Schraube sowohl außerhalb des Pedikels als auch außerhalb des Wirbelkörpers (3A nach Zdichavsky). Eine Perforation der medialen Pedikelwand (2B nach Zdichavsky) wurde einmal bei der Gruppe OFFEN festgestellt [38].

Ähnlich zu den ergebnissen der vorliegenden Arbeit zeigte sich in der aktuellen Studie von Erichsen et al. bei insgesamt 87 erfassten Patienten, dass nur eine Schraube der minimalinvasiv versorgten Patientengruppe suboptimal und ohne Revisionsbedürftigkeit lag (1B nach Zdichavsky) [28].

Aufgrund der oben genannten Ergebnisse unserer und anderer vergleichbarer Untersuchungen ist festzustellen, dass die Platzierung der Pedikelschrauben bei minimalinvasiver Technik im Vergleich zur offenen Platzierung hinsichtlich der Qualität der Schraubenlage identisch ist. Durch die Drahtführung der Schrauben und die wiederholte Durchleuchtung beim MIS Verfahren war demnach keine bessere Schraubenplatzierung als beim offenen Verfahren festzustellen; demnach scheint beim offenen Vorgehen die freie Sicht auf Landmarken und die taktile Rückkopplung bereits eine Optimalpositionierung der Schrauben zu ermöglichen.

7.2.6 Backen-Knochen-Abstand

Der Abstand zwischen den Systembacken und dem jeweils obersten Punkt des Knochens wurde für alle Pedikelschrauben in beiden Gruppen gemessen. Im Vergleich zur Gruppe OFFEN lagen die Backen in der Gruppe MIS höher. Die Differenz der mittleren Abstände zwischen den Gruppen betrug zwischen 6 und 8 mm (s. Abb. 41 und 42, sowie Tabelle 8). Dies ist möglicherweise dadurch zu erklären, dass bei der minimalinvasiven Stabilisierung die Pedikel zur Schonung der umgebenden Weichteile stumpf und ohne weitere anatomische Präparation dargestellt werden. Daher ist ein etwas größerer Abstand zwischen den Backen und dem Knochen zu erwarten. Diese Abstandsdifferenzen zeigten jedoch hinsichtlich der Reposition und der ausgewerteten klinischen Parameter keine Relevanz. Ob diese Abstandsdifferenzen eine Hebelwirkung haben oder im Verlauf einen Schraubenbruch oder

eine Korrekturverlust verursachen ist nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit und würde weitere Studien mit Spätverlauf benötigen.

7.3 Schlussfolgerung

Die dorsale Stabilisierungsmethode stellt nach wie vor den Goldstandard bei thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen dar. Ziel unserer Arbeit war es, mögliche Unterschiede zwischen offenem und minimalinvasivem Operationsverfahren der dorsalen, bisegmentalen Stabilisierung frischer Wirbelkörperverletzungen am thorakolumbalen Übergangsbereich zu finden und dabei die Vor- und Nachteile der beiden Methoden zu analysieren.

Zusammenfassend ermöglichen beide Techniken eine effektive Reposition und Stabilisierung der Fraktur. Durch die Ergebnisse der vorliegenden Studie und unter Berücksichtigung vergleichbarer Arbeiten ist hervorzuheben, dass die minimalinvasive Method in Bezug auf Blutverlust und Operationsdauer schonender für den Patienten ist. Darüber hinaus zeigt die vorliegende ausführliche Repositionsanalyse, dass trotz geringgradig größerem Abstand der Implantate zum Knochen der Wirbelsäule in der Gruppe MIS im Vergleich zur offenen Technik keine Unterschiede bezüglich der Wiederherstellung des sagittalen Profils und des Spinalkanals vorliegen. Das minimalinvasive Verfahren ist weniger empfehlenswert im Falle der Typ C thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen, wenn ein Querverbinder verwendet werden soll, oder in Fälle der multisegmentalen dorsalen Stabilisierung, wenn ein oder zwei Querträger eingeschoben werden soll. Das minimalinvasive Verfahren wäre weniger empfehlenswert bei Verletzungen mit neurologischen Ausfällen, bei denen eine Hemilaminektomie oder Dekompression des Spinalkanals durch Laminfensterung und Zurückstößen des dislozierten Fragments durchgeführt wird. Ansonstens sollte daher unseres Erachtens, besonders bei Typ A- und B-Verletzungen ohne neurologischen Ausfällen diese Form der dorsalen Stabilisierung gegenüber der offenen Technik bevorzugt angewandt werden.

8. Literaturverzeichnis

1. **Afolabi A., Weir T. B., Usmani M. F., Camacho J. M., Bruckner J. M., Gopinath R., Banagan K. E., Koh E. Y., Gelb D. E., Ludwig S. C.** (2020) *Comparison of percutaneous minimally invasive versus open posterior spine surgery for fixation of thoracolumbar fractures: a retrospective matched cohort analysis.* Journal of Orthopaedics, 18: 185–190.
2. **Aono H., Tobimatsu H., Ariga K., Kuroda M., Nagamoto Y., Takenaka S., Furuya M., Iwasaki M.** (2016) *Surgical outcomes of temporary short- segment instrumentation without augmentation for thoracolumbar burst fractures.* Injury, 47(6): 1337-1344.
3. **Bäcker H. C., Vosseller J. T., Benneker L., Noger M., Krause F., Hoppe S., Deml M. C.** (2019) *Spinal injuries in airborne accidents: a demographic overview of 148 patients in a level-1 trauma center.* European Spine Journal, 28:1138–1145.
4. **Beck M., Moritz K., Gierer P., Gradl G., Harms C., Mittlmeier T.,** (2009) *Intraoperative control of pedicle screw position using three-dimensional fluoroscopy. A prospective study in thoracolumbar fractures.* Z. Orthop Unfall, 147: 37-42.
5. **Bellabarba C., Fisher C., Chapman J. R., Dettori J. R., Norvell D. C.** (2010) *Does early fracture fixation of thoracolumbar spine fractures decrease morbidity or mortality?* SPINE, Vol. 35, Num. 9S:138–145.
6. **Bellabarba C., Zhang F., Wagner T.** (2012) *Controversies in TL classifications. What are we actually treating? Some perspectives on the evolution of spine fracture classifications systems.* Unfallchirurg, 115 (12): 1056-1060.
7. **Bironneau A., Bouquet C., Millet-Barbe B., Leclercq N., Pries P., Gayet L. E.** (2011) *Percutaneous internal fixation combined with kyphoplasty for neurologically intact thoracolumbar fractures: a prospective cohort study of 24 patients with one year of follow-up.* Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research, 97: 389—395.
8. **Blatter T. R., Katscher S., Josten C.** (2011) *Percutaneous techniques in the thoracic and lumbar spine.* Unfallchirurg, 114 (1): 17–25.
9. **Bliemel Ch., Lefering R., Buecking B., Frink M., Struwer J., Krueger A., Ruchholtz S., Frangen T. M.** (2014) *Early or delayed stabilization in severely injured patients with spinal fractures? Current surgical objectivity according to the Trauma Registry of DGU: Treatment of spine injuries in polytrauma patients.* J Trauma Acute Care Surg, Vol. 76, N. 2.
10. **Bork H., Fischer K., Fromm B., Schmidt J., Simmel S., Veihelmann A., Glaesener J. J., Böhle E., Ernst U., Pullwitt V., Krause P., Vogt L., Panning S., Greitemann B., Horst H.** (2016) *S2k-Leitlinie „Rehabilitation nach traumatischen Frakturen der Brust-und Lendenwirbelsäule ohne neurologische Ausfälle“.* AWMF-Leitlinien Register, 033/043.
11. **Briem D., Behechtnejad A., Ouchmaev A., Morfeld M., Schermelleh-Engel K., Amling M., Rueger J. M.** (2007) *Pain regulation and health-related quality of life after thoracolumbar fractures of the spine.* Eur Spine J, 16: 1925–1933.

12. **Briem D., Lehmann W., Ruecker A. H., Windolf J., Rueger J. M., Linhart W.,** (2004) *Factors influencing the quality of life after burst fractures of the thoracolumbar transition.* Arch Orthop Trauma Surg, 124: 461–468.
13. **Bühren V., Beisse R., Potulski M.** (1997) *Minimal-invasive Spondylodesen bei Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule.* Der Chirurg, 68: 1076-1084.
14. **Camacho J. E., Usmani M. F., Strickland A. R., Banagan K. E., Ludwig S. C.** (2019) *The use of minimally invasive surgery in spine trauma: a review of concepts.* Journal of Spine Surgery, Suppl. 1: 91-100.
15. **Caruso G., Gildone A., Lorusso V., Lombardi E., Andreotti M., Gerace E., Massari L.** (2019) *Percutaneous fixation and balloon kyphoplasty for the treatment of A3 thoracolumbar fractures.* Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma, 10: 163-167.
16. **Caruso G., Lombardi E., Andreotti M., Lorusso V., Gildone A., Padovani S., Massari L.** (2018) *Minimally invasive fixation techniques for thoracolumbar fractures: comparison between percutaneous pedicle screw with intermediate screw (PPSIS) and percutaneous pedicle screw with kyphoplasty (PPSK).* European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology, 28: 849–858.
17. **Chapman T. M., Blizzard D. J., Brown C. R.** (2016) *CT accuracy of percutaneous versus open pedicle screw techniques: a series of 1609 screws,* Eur Spine Journal, 25: 1781–1786.
18. **Charles Y. P., Walter A., Schuller S., Aldakheel D., Steib J. P.** (2012) *Thoracolumbar fracture reduction by percutaneous in situ contouring.* Eur Spine Journal, 21 (11): 2214–21.
19. **Curfs I., Schotanus M., Van Hemert W. L. W., Heijmans M., De Bie R. A., Van Rhijn L. W., Willems P.** (2020) *Reliability and clinical usefulness of current classifications in traumatic thoracolumbar fractures: a systematic review of the literature.* International Journal of Spine Surgery, Vol. 14, No. 6: 956–969.
20. **Defino H. L. A., Costa H. R. T., Nunes A. A., Barbosa M. N., Romero V.** (2019) *Open versus minimally invasive percutaneous surgery for surgical treatment of thoracolumbar spine fractures - a multicenter randomized controlled trial: study protocol.* BMC Musculoskeletal Disorders.
21. **Dev Pannu C., Farooque K., Sharma V., Singal D.** (2019) *Minimally invasive spine surgeries for treatment of thoracolumbar fractures of spine: A systematic review.* Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma 10: 147-155.
22. **Dickmann C. A., Fessler R. G., MacMillan M.** (1992) *Transpedicular screw-rod fixation of the lumbar spine: operative technique and outcome in 104 cases.* Journal of Neurosurgery, 77: 860-870
23. **Dick W., Kluger P., Magerl F., Wörsdörfer O., Zäch G.** (1985) *A new device for internal fixation of thoracolumbar and lumbar spine fractures: the "fixateur interne".* Paraplegia, 23: 225-232.
24. **Dick W., Rickert M.** (2015) *History of internal fixators. The subsequent importance for spinal surgery.* Unfallchirurg, 118 Suppl 1: 66-72.

25. **Dick W.**, (1987) *The "fixateur interne" as a versatile implant for spine surgery.* Spine, 12: 882-900.
26. **Dobran M., Nasi D., Brunozzi D., Di Somma L., Gladi M., Iacoangeli M., Scerrati M.** (2016) *Treatment of unstable thoracolumbar junction fractures: short-segment pedicle fixation with inclusion of the fracture level versus long-segment instrumentation.* Acta Neurochir, 158 (10):1883–1889.
27. **Dong S. H., Chen H. N., Tian J. W.** (2013) *Effects of minimally invasive percutaneous and trans-spatium intermuscular short-segment pedicle instrumentation on thoracolumbar mono-segmental vertebral fractures without neurological compromise.* Orthop Traumatol Surg Res., 99 (4): 405–411.
28. **Erichsen Ch. J., Heyde Ch. E., Josten Ch., Gonschorek O., Panzer S., Rüdén Ch., Spiegl U. S.** (2020) *Percutaneous versus open posterior stabilization in AOSpine type A3 thoracolumbar fractures.* BMC Musculoskeletal Disorders.
29. **Esch S.** (2013) *Frühergebnisse der operativen monosegmentalen Stabilisierung instabiler Berstungsfrakturen: Vergleich der zweizeitigen dorso-ventralen Fixateur interne – Technik mit der isoliert ventralen Stabilisierung.*
30. **Esses S. I., Botsford D. J., Wright T., Bednar D., Bailey S.** (1991) *Operative treatment of spinal fractures with the AO internal fixator.* Spine, 16: 146-150.
31. **Fitschen-Oesterna S., Scheuerleina F., Weustera M., Kluetera T., Menzdorfa L., Varogaa D., Kopetschb C., Muellera M., van der Horstc A., Seekampa A., Behrendta P., Lipprossa S.** (2015) *Reduction and retention of thoracolumbar fractures by minimally invasive stabilisation versus open posterior instrumentation.* Injury, 46: 63–70.
32. **Foley K., Holly L., Schwender J.** (2003) *Minimally invasive lumbar fusion.* Spine, 28 (15): 26–35.
33. **Fu Z., Zhang X., Shi Y., Dong Q.** (2016) *Comparison of surgical outcomes between short-segment open and percutaneous pedicle screw fixation techniques for thoracolumbar fractures.* Med Sci Monit, 22: 3177-3185.
34. **Ganse B., Pishnamaz M., Kobbe P., Herren C., Gradl-Dietsch G., Boehle F., Johannes B., Kim B. S., Horst K., Knobe M.** (2017) *Microcirculation in open vs. minimally invasive dorsal stabilization of thoracolumbar fractures.* Plos One.
35. **Gong Y., Fu G., Li B., Li Y., Yang X.** (2017) *Comparison of the effects of minimally invasive percutaneous pedicle screws osteosynthesis and open surgery on repairing the pain, inflammation and recovery of thoracolumbar vertebra fracture.* Experimental and Therapeutic Medicine 14: 4091-4096.
36. **Gonschorek O., Hauck S., Weiß T., Bühren V.** (2015) *Fraktur der Brust- und Lendenwirbelsäule.* Chirurg, 86: 901–916.

- 37. Gonschorek O., Spiegl U., Weiss T., Patzold R., Hauck S., Bühren V. (2011)** *Reconstruction after spinal fractures in the thoracolumbar region.* Unfallchirurg, 114 (1): 26–34.
- 38. Grass R., Biewener A., Dickopf A., Rammelt St., Heineck J., Zwipp H. (2005)** *Perkutane dorsale versus offene Instrumentation bei Frakturen des thorakolumbalen Übergangs - eine vergleichende prospektive Untersuchung.* Unfallchirurg, 109: 297–305.
- 39. Gui Q., Su X., Lu Z., He J. (2020)** *Comparison between minimally invasive percutaneously and open pedicle screw fixation of thoracolumbar fracture - Prospective comparative study protocol.* Medicine.
- 40. Gühring T., Raible C., Matschke S. (2013)** *Perkutane dorsale Instrumentierung der thorakolumbalen Wirbelsäule Technik dergeschlossenen Frakturposition bei gleichzeitiger Dekompression des Spinalkanals.* Unfallchirurg, 116: 749–754.
- 41. Hariri O. R., Kashyap S., Takayanagi A., Elia C., Ma Q., Miulli D. E. (2018)** *Posterior - only stabilization for traumatic thoracolumbar burst fractures.* Cureus, 2296.
- 42. Heintel T. M., Berglehner A., Meffert R. (2012)** *Accuracy of percutaneous pedicle screws for thoracic and lumbar spine fractures: a prospective trial.* European Spine Journal, 22: 495-502.
- 43. Heintel T. M., Dannigkeit S., Fenwick A., Jordan M. C., Jansen H., Gilbert F., Meffert R. (2017)** *How safe is minimally invasive pedicle screw placement for treatment of thoracolumbar spine fractures?* Eur Spine Journal, 26:1515–1524.
- 44. Hierholzer Ch., Bühren V., Woltmann A. (2007)** *Operative Timing and Management of Spinal Injuries in Multiply Injured Patients.* Eur J Trauma Emerg Surg, 33: 488–500.
- 45. James K. S., Wenger K. H., Schlegel J. D., Dunn H. K. (1994)** *Biomechanical evaluation of the stability of thoracolumbar burst fractures.* Spine, 19: 1731-1740.
- 46. John H. Chi J. H., Eichholz K. M., Anderson P. A., Arnold P. A., Dailey A. T., Dhall S. S., Harrop J. S., Hoh D. J., Qureshi S., Rabb C. H., Raksin P. B., Kaiser M. G., O'Toole J. E. (2018)** *Congress of neurological surgeons systematic review and evidence-based guidelines on the evaluation and treatment of patients with thoracolumbar spine trauma: novel surgical strategies.* Neurosurgery, Vol. 84, N. 1.
- 47. Josten C., Katscher S., Gonschorek O. (2005)** *Therapiekonzepte bei Frakturen des thorakolumbalen Überganges und der Lendenwirbelsäule.* Orthopäde, 34: 1021–1032.
- 48. Katscher S., Verheyden P., Gonschorek O., Glasmacher S., Josten C. (2003)** *Thorakolumbale Wirbelfrakturen nach konservativer und operativer Behandlung Abhängigkeit des Korrekturverlustes von der Höhenlokalisation.* Unfallchirurg, 106: 20–27.

49. **Knop C., Blauth M., Bastian L., Lange U., Kesting J., Tscherne H.** (1997) *Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule Spätergebnisse nach dorsaler Instrumentierung und ihre Konsequenzen.* Unfallchirurg, 100: 630–639.
50. **Knop C., Blauth M., Bühren V., Hax P. H., Kinzl L., Mutschler W., Pommer A., Ulrich C., Wagner S., Weckbach A., Wentzensen A., Wörsdörfer O.** (2000) *Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs Teil 2: Operation und röntgenologische Befunde.* Unfallchirurg, 103:1032–1047.
- 50.1 **Knop C., Blauth M., Bühren V., Arand M., Egbers H.-J., Hax P. -M., Nothwang J., Oestern H.-J., Pizanis A., Roth R., Weckbach A., Wentzensen A.** (2001) *Operative Behandlung von Verletzungen des thorakolumbalen Übergangs Teil 3: Nachuntersuchung. Ergebnisse einer prospektiven multizentrischen Studie der Arbeitsgemeinschaft „Wirbelsäule“ der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie.* Unfallchirurg, 104: 583–600.
51. **Kocis J., Kelbl M., Kocis T., Návrat T.** (2018) *Percutaneous versus open pedicle screw fixation for treatment of type a thoracolumbar fractures.* European Journal of Trauma and Emergency Surgery, 46:147–152.
52. **Kohn D., Pohlemann T., Fritsch E.** (2009) *Operationsatlas für die orthopädisch-unfallchirurgische Weiterbildung.* Springer Berlin Heidelberg, 430.
53. **Koreckij T., Park D. K., Fischgrund J.** (2014) *Minimally invasive spine surgery in the treatment of thoracolumbar and lumbar spine trauma.* Neurosurg Focus, Vol. 37.
54. **Korovessis P., Hadjipavlou A., Repantis T.** (2008) *minimal invasive short posterior instrumentation plus balloon kyphoplasty with calcium phosphate for burst and severe compression lumbar fractures.* Spine Vol. 33, Number 6: 658–667.
55. **Kumar A., Aujla R., Lee C.** (2015) *The managment of thoracolumbar burst fractures: a prospective study between conservative managment, traditional open spinal surgery and minimally interventional spinal surgery.* Springer Plus, 4: 204.
56. **Kuner E. H., Schlickewei W., Hauser U., Kuner A.** (1996) *Reconstruction of open width of the spinal canal by internal fixator instrumentation and remodeling]* Chirurg, 67: 531-538.
57. **Kuner E. H., Schlickewei W., Kuner A., Hauser U.** (1997) *Restoration of the spinal canal by the internal fixator and remodeling.* Eur Spine Journal, 6: 417-422.
58. **Lee J. K., Jang J. W., Kim T. W., Kim T. S., Kim S. H., Moon S. J.** (2013) *Percutaneous shortsegment pedicle screw placement without fusion in the treatment of thoracolumbar burst fractures: is it effective?: comparative study with open short-segment pedicle screw fixation with posterolateral fusion.* Acta Neurochirurg, 155 (12): 2305–12.
59. **Lee Y. C., Selby M., Zotti M., Roy D., Freeman B.** (2019) *Minimally invasive stabilization for thoracolumbar and lumbar fractures: a comparative study with short segment open Schanz screw constructs.* Spine Surg., 5:13-18.
60. **Leferink V. J. M., Nijboer J. M. M., Zimmerman K. W., Veldhuis E. F. M., Vergert E. M., Duis H. J.** (2002) *Thoracolumbar spinal fractures: segmental range of motion after dorsal spondylodesis in 82 patients: a prospective study.* Eur Spine J, 11: 2–7.

61. **Lehmann W., Ushmaev A., Ruecker A.** (2008) *Comparison of open versus percutaneous pedicle screw insertion in a sheep model.* Eur Spine Journal, 17 (6): 857–863.
62. **Lendemans S., Hussmann B., Kauther M. D., Nast-Kolb D., Taeger G.** (2011) *Minimal-invasive dorsale Stabilisierung der thorakolumbalen Wirbelsäule.* Unfallchirurg, 114:149–160.
63. **Leucht P., Fischer K., Muhr G., Mueller E. J.** (2009) *Epidemiology of traumatic spine fractures.* Injurey, 40 (2): 166–72.
64. **Li S., Li Z., Hua W., Wang K., Li S., Zhang Y., Ye Z., Shao Z., Wu X., Yang C.,** (2017) *Clinical outcome and surgical strategies for late post-traumatic kyphosis after failed thoracolumbar fracture operation - case report and literature review.* Medicine.
65. **Loibla M., Korsuna M., Reissa J., Gueorguiev B., Nerlich M., Neumann C., Baumanna F.** (2015) *Spinal fracture reduction with a minimal-invasive transpedicular Schanz Screw system: clinical and radiological one-year follow-up.* Injury, 46S4: 75-82.
66. **Lorente R., Lorente A., Palacios P., Barrios C., Rosa B., Vaccaro A.** (2019) *Radiological evaluation does not reflect the clinical outcome after surgery in unstable thoracolumbar and lumbar type A fractures without neurological symptoms - a comparative study of 2 cohorts treated by open or percutaneous surgery.* Clin Spine Surg., Vol. 32, Num. 2.
67. **Lyu J., Chen K., Tang Z., Chen Y., Li M., Zhang Q.** (2016) *A comparison of three different surgical procedures in the treatment of type a thoracolumbar fractures: a randomized controlled trial.* Int Orthop., 40 (6): 1233–8.
68. **Magerl F., Aebi M. Gertzbein S. D., Harms J., Nazarian S.** (1994) *A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries.* European Spine Journal, 3: 184-201.
69. **Magerl F., Engelhardt P.** (1994) *Brust- und Lendenwirbelsäule Verlaufsformen.* Orthopädie in Praxis und Klinik, Spezielle Orthopädie (Wirbelsäule-Thorax-Becken). Thieme: Stuttgart, New-York: 3.82-3.132.
70. **Magerl F.** (1984) *Stabilization of the lower thoracic and lumbar spine with external skeletal fixation.* Clinical Orthopaedics, 189: 125-141
71. **McAnany S. J., Overley S. C., Kim J. S., Baird E. O., Qureshi S. A., Anderson P. A.** (2016) *Open versus minimally invasive fixation techniques for thoracolumbar trauma: a meta-analysis.* Global Spine Journal, 6:186–194.
72. **McCormack T., Karaikovic E., Gaines R. W.** (1994) *The load-sharing Classification of spine fractures.* Spine, 19: 1741-1744.
73. **Mueller L. A., Mueller L. P., Schmidt R., Forst R., Rudig L.** (2006) *The phenomenon and efficiency of ligamentotaxis after dorsal stabilization of thoracolumbar burst fractures.* Arch Orthop Trauma Surg, 126: 364–368.
74. **Muratore M., Allasia S., Viglierchio P., Abbate M., Aleotti S., Masse A., Bistolfi A.** (2021) *Surgical treatment of traumatic thoracolumbar fractures: a retrospective review of 101 cases.* Musculoskeletal Surgery, 105: 49–59.

75. Ni W. F., Huang Y. X., Chi Y. L., Xu H. Z., Lin Y., Wang X. Y. (2010) *Percutaneous pedicle screw fixation for neurologic intact thoracolumbar burst fractures*. Journal Spinal Disord Tech., 23 (8): 530–7.
76. Ntilikina Y., Bahlau D., Garnon J., Schuller S., Walter A., Schaeffer M., Steib J. P., Charles Y. P. (2017) *Open versus percutaneous instrumentation in thoracolumbar fractures: magnetic resonance imaging comparison of paravertebral muscles after implant removal*. J Neurosurg Spine, 27: 235–241.
77. Oda I., Cunningham B. W., Buckley R. A., Goebel M. J., Haggerty C. J., Orbegoso C. M., McAfee P. C. (1999) *Does spinal kyphotic deformity influence the biomechanical characteristics of the adjacent motion segments? An in vivo animal model*. Spine, 24: 2139-2146.
78. Oh T., Scheer JK., Fakurnejad S., Dahdaleh NS., Smith ZA. (2015) *Minimally invasive spinal surgery for the treatment of traumatic thoracolumbar burst fractures*. Journal of Clin Neurosci., 22 (1): 42-47.
79. Oner F. C., MD, Wood K. B., Smith J. S., Shaffrey C. I. (2010) *Therapeutic decision making in thoracolumbar spine trauma*. Spine, Vol. 35, N. 21S: 235–244.
80. Palmisani M., Gasbarrini A., Brodano G. B. (2009) *Minimally invasive percutaneous fixation in the treatment of thoracic and lumbar spine fractures*. Eur Spine Journal, 18 (6 Suppl 1): 71–74.
81. Panteliadis P., Musbahi O., Muthian S., Goyal S., Montgomery A. S., Ranganathan A. (2018) *A comparison of three different methods of fixation in the management of thoracolumbar fractures*. International Journal of Spine Surgery, Vol. 12, No.1: 1–7.
82. Parker J. W., Lane J. R., Karaikovic E. E., Gaines R. W. (2000) *Successful short-segment instrumentation and fusion for thoracolumbar spine fractures a consecutive 4 1/2-year series*. SPINE, Vol. 25, N. 9:1157–1169.
83. Pellis F., Barastegui D., Hernandez-Fernandez A., Barrera-Ochoa S., Bag J., Issa-Ben D., Caceres E., Villanueva C., (2015) *Viability and long-term survival of short-segment posterior fixation in thoracolumbar burst fractures*. The Spine Journal, 15: 1796–1803.
84. Pishnamaz M., Oikonomidis S., Knobe M., Horst K., Pape H. C., Kobbe P. (2015) *Open versus percutaneous stabilization of thoracolumbar spine fractures: a short-term functional and radiological follow-up*. Acta Chir Orthop Traumatol Cechoslov, 82 (4): 274–81.
85. Pishnamaz M., Schemmann U., Herren Ch., Horst K., Lichte P, Hildebrand F., Pape H. Ch., Kobbe P. (2018) *Muscular changes after minimally invasive versus open spinal stabilization of thoracolumbar fractures: A literature review*. J Musculoskelet Neuronal Interact, 18(1): 62-70.
86. Pizanis A., Mutschler W. (1998) *Dorsal stabilisation of fractures of the thoracic and lumbar spine by internal fixator - technique and outcome*. Zentralblatt Chirurgie, 123: 936-943.

- 86.1 Prokop A., Löhlein F., Chmielnicki M., Volbracht J.** (2009) *Minimal-invasive perkutane Instrumentation bei Wirbelsäulenfrakturen*. Unfallchirurg, 112: 621–628.
- 87. Reid D. C., Hu R., Davies L. A., Saboe L. A.** (1988) *The nonoperative treatment of burst fractures of the thoracolumbar junction*. Journal of trauma, 28: 1188-1194.
- 88. Reinhold M., Knop C., Beisse R., Audigé L., Kandziora F., Pizanis A., Pranzl R., Gercek E., Schultheiss M., Weckbach A., Bühren V., Blauth M.** (2009) *Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule Teil I: Epidemiologie*. Unfallchirurg, 112: 33–45.
- 89. Reinhold M., Knop C., Beisse R., Audigé L., Kandziora F., Pizanis A., Pranzl R., Gercek E., Schultheiss M., Weckbach A., Bühren V., Blauth M.** (2009) *Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule Teil II: Operation und röntgenologische Befunde*. Unfallchirurg 112: 149–167
- 90. Reinhold M., Knop C., Beisse R., Audigé L., Kandziora F., Pizanis A., Pranzl R., Gercek E., Schultheiss M., Weckbach A., Bühren V., Blauth M.** (2009) *Operative Behandlung traumatischer Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule Teil III: Nachuntersuchung*. Unfallchirurg 112: 294–316.
- 91. Reinhold M., Knop C., Beisse R., Audigé L., Kandziora F., Pizanis A., Pranzl R., Gercek E., Schultheiss M., Weckbach A., Bühren V., Blauth M.** (2010) *Operative treatment of 733 patients with acute thoracolumbar spinal injuries: comprehensive results from the second, prospective, internet-based multicenter study of the Spine study group of the german association of trauma surgery*. Eur Spine J, 19:1657–1676.
- 92. Reischmann B.** (2009) Vergleichende Nachuntersuchung der operativen Behandlung von Wirbelsäulenfrakturen bei Patienten über 65 Jahren.
- 93. Rodriguez-Vela J., Lobo-Escolar A., Joven-Aliaga E., Herrera A., Vicente J., Sunen E.** (2009) *Perioperative and short-term advantages of mini-open approach for lumbar spinal fusion*. Eur Spine Journal, 18 (8): 1194–201.
- 94. Rohlmann A., Bergmann G., Graichen F., Weber U.** (1999) *Die Belastung des Wirbel-Fixateur-interne*. Der Orthopäde, 28: 451-457.
- 95. 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.
- 96. Schnake K. J., Bula P., Spiegl U. J., Müller M., Hartmann F., Ullrich B. W., Blattert T. R.** (2018) *Thorakolumbale Wirbelsäulenfrakturen beim alten Menschen – Klassifikation und Therapie*. Unfallchirurg, 120: 1071–1085.
- 97. Sebaaly A., Rizkallah M., Riouallon G., Wang Z., Moreau P. E., Bachour F., Maalouf G.** (2018) *Percutaneous fixation of thoracolumbar vertebral fractures*. EOR, Vol. 3.
- 98. Siebenga J., Leferink V. J., Segers M. J., Elzinga M. J., Bakker F. C., Haarman H. J.** (2006) *Treatment of traumatic thoracolumbar spine fractures: a multicenter prospective randomized study of operative versus nonsurgical treatment*. Spine, 31 (25): 2881–90.

99. **Silver J. R.** (2013) *History of the treatment of spinal injuries*. Springer.
100. **Soika A. T.** (2018) *Vergleich zweier Fixateur interne Stabilisierungstechniken bei der dorso-ventralen Versorgung von Wirbelfrakturen: mono vs. bisegmentale Fixation*.
101. **Spiegl U. J., Fischer K., Schmidt J., Schnoor J., Delank S., Josten C., Schulte T., Heyde C. E.** (2018) *The conservative treatment of traumatic thoracolumbar vertebral fractures a systematic review*. *Deutsches Ärzteblatt International*, 115: 697–704.
102. **Spiegl U. J., Josten C., Devitt B. M., C. E. Heyde** (2017) *Incomplete burst fractures of the thoracolumbar spine: a review of literature*. *Eur Spine J*, 26: 3187–3198.
103. **Stambough J. L.** (1997) *Posterior instrumentation for thoracolumbar trauma*. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 335: 73-88.
104. **Stam W. T., Deunk J., Elzinga M. J., Bloemers F. W., Giannakopoulos G. F.** (2020) *The predictive value of the load sharing classification concerning sagittal collapse and posterior instrumentation failure: a systematic literature review*. *Global Spine Journal*, Vol. 10, 486-492.
105. **Starlinger J., Lorenz G., Fochtman-Frana A., Sarahrudi K.** (2020) *Bisegmental posterior stabilisation of thoracolumbar fractures with polyaxial pedicle screws: does additional balloon kyphoplasty retain vertebral height?* *Plos One*.
106. **Sun X. Y., Xi-Nuo Zhang X. N., Hai Y.** (2017) *Percutaneous versus traditional and paraspinal posterior open approaches for treatment of thoracolumbar fractures without neurologic deficit: a meta-analysis*. *Eur Spine J*, 26: 1418–1431.
107. **Tian F., Tu L. Y., Gu W. F., Zhang E. F., Wang Z. B., Chu G., Ka H., Zhao Y.** (2018) *Percutaneous versus open pedicle screw instrumentation in treatment of thoracic and lumbar spine fractures a systematic review and meta-analysis*. *Tian et al. Medicine*.
108. **Tkatschenko D., Kendlbacher P., Czabanka M., Bohner G., Vajkoczy P., Hecht N.** (2020) *Navigated percutaneous versus open pedicle screw implantation using intraoperative CT and robotic cone-beam CT imaging*. *European Spine Journal*, 29: 803–812.
109. **Tscherne H., Blauth M.** (1998) *Tscherne Unfallchirurgie Wirbelsäule*. Springer Verlag.
110. **Vaccaro A. R., Oner C., Kepler C. K., Dvorak M., Schnake K., Bellabarba C.** (2013) *AO Spine thoracolumbar spine injury classification system: fracture description, neurological status, and key modifiers*. *Spine*, 38 (23): 2028–37.
111. **Vanek P., Bradac O., Konopkova R., de Lacy P., Lacman J., Benes V.** (2014) *Treatment of thoracolumbar trauma by short-segment percutaneous transpedicular screw instrumentation: prospective comparative study with a minimum 2-year follow-up*. *Journal of Neurosurg Spine*, 20 (2): 150–6.

112. 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. (2011) *Recommendations for the treatment of thoracolumbar and lumbar spine injuries*. Unfallchirurg, 114: 9-16.
113. Verheyden A. P., Spiegl U. J., Ekkerlein H., Gercek E., Hauck S., Josten Ch., Kandziora F., Katscher S., Kobbe P., Knop Ch., Lehmann W., Meffert R. H., Müller Ch. W., Partenheimer A., Schinkel Ch., Schleicher P., Scholz M., Ulrich Ch., Hoelzl A. (2018) *Treatment of Fractures of the Thoracolumbar Spine: Recommendations of the Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma (DGOU)*. Global Spine Journal, Vol. 8(2S): 34-45.
114. Wang B., Fan Y., Dong J., Wang H., Wang F., Liu Z., Liu H., Feng Y., Chen F., Huang Z., Chen R., Lei W., Wu Z. (2017) *A retrospective study comparing percutaneous an open pedicle screw fixation for thoracolumbar fractures with spinal injuries*. Medicine, 96: 38.
115. Wang H. W., Li C. Q., Zhou Y. (2010) *Percutaneous pedicle screw fixation through the pedicle of fractured vertebra in the treatment of type A thoracolumbar fractures using Sextant system: an analysis of 38 cases*. Chin Journal Traumatol, 13 (3): 137–145
116. Wang H., Zhou Y., Li Ch., Liu J., Xiang L. (2007) *Comparison of open versus percutaneous pedicle screw fixation using the sextant system in the treatment of traumatic thoracolumbar fractures*. Clin Spine Surg, Vol. 30, N. 3.
117. Weiß T., Hauck S., Bühren V., Gonschorek O. (2014) *Repositionsmöglichkeiten mittels perkutaner dorsaler Instrumentierung bei Berstungsfrakturen des thorakolumbalen Übergangs*. Unfallchirurg, 117: 428–436.
118. Whang P. G., Vaccaro A. R. (2007) *Thoracolumbar fracture: posterior instrumentation using distraction and ligamentotaxis reduction*. J Am Acad Orthop Surg, 15: 695-701.
119. Wild M. H., Glees M., Plieschnegger C., Wenda K. (2006) *Five-year follow-up examination after purely minimally invasive posterior stabilization of thoracolumbar fractures: a comparison of minimally invasive percutaneously and conventionally open treated patients*. Arch Orthop Trauma Surg, 127: 335–343.
120. Wood K. B., Li W., Lebl D. S., Ploumis A. (2014) *Management of thoracolumbar spine fractures*. The Spine Journal, 145–164.
121. Wood K., Buttermann G., Mehbod A., Garvey T., Jhanjee R., Sechriest V. (2003) *Operative compared with nonoperative treatment of a thoracolumbar burst fracture without neurological deficit. A prospective, randomized study*. Journal Bone Joint Surg, 85-A (5): 773–81.
122. Yang M., Zhao Q., Hao D., Chang Z., Liu S., Yin X. (2019) *Comparison of clinical results between novel percutaneous pedicle screw and traditional open pedicle screw fixation for thoracolumbar fractures without neurological deficit*. International Orthopaedics, 43:1749–1754.

- 123. Zdichavsky M., Blauth M., Knop C., Graessner M., Herrmann H., Krettek C., Bastian L., (2004) Accuracy of Pedicle Screw Placement in Thoracic Spine Fractures. European Journal of Trauma, 30: 234-240.**
- 124. Zhanga C., Liub Y. (2018) Combined pedicle screw fixation at the fracture vertebrae versus conventional method for thoracolumbar fractures: A meta-analysis. International Journal of Surgery, 53: 38–47.**
- 125. Zou P., Yang J. S., Wang X. F., Wei J. M., Liu P., Chen H., Hao D. J., Li Q. D., Wei D., Gong H. L., Wu X. C., Liu B. Y., Zhang Y. T., Zhang X. F., Zhao Y. T. (2020) Comparison of clinical and radiologic outcome between mini-open wiltse approach and fluoroscopic-guided percutaneous pedicle screw placement: a randomized controlled trial. World Neurosurg, 144: 368-375.**

9. Danksagung

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

Besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn Privatdozent Dr. med. A. Pizanis, stellvertretender Klinikdirektor der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikums des Saarlandes für die Bereitstellung des Themas. Er unterstützte mich hervorragend und sehr geduldig mit persönlichem Einsatz und Optimismus.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Privatdozent Dr. med. M. Orth, Leitender Oberarzt der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikums des Saarlandes für dessen dauernde Unterstützung und Förderung im Rahmen der Arbeit.

Herrn Dr. med. D. Osche gilt mein besonderer Dank für die großartige Unterstützung und Korrektur der Arbeit.

Für die wichtigen Hinweise und die andauernde Unterstützung im Rahmen der Arbeit bedanke ich mich bei den Mitarbeitern unserer Klinik, besonders Herrn Privatdozent Dr. med. B. Braun, Herrn Dr. med. P. Mörsdorf, Herrn Dr. med. N. Veith und Herrn Dr. med. T. Fritz.

Frau B. Gard gilt mein besonderer Dank für die Unterstützung bei der Erstellung des Dissertationstextes.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern, Herrn M. Pirpilashvili und Frau R. Arziani, die mir die allgemeine Bildung sowie das Medizinstudium generell ermöglicht haben und mich im Verlauf bis zum heutigen Tag immer unterstützt haben.

Am Ende möchte ich mich ganz besonders herzlich bei meiner Frau I. Schmidt und den Kindern Richard, David und Sophia bedanken, die meine Arbeit an diesem Werk mit Geduld und Verständnis begleitet haben.

10. Lebenslauf

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird der Lebenslauf in der elektronischen Fassung der Dissertation nicht veröffentlicht.

11. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: BWK 12-Fraktur.....	14
Abbildung 2: AO-Klassifikation der thorakolumbalen Frakturen der Wirbelsäule.....	14
Abbildung 3: Fixateur interne, USS Fracture®.....	20
Abbildung 4: Bauchlagerung im OP-Saal.....	21
Abbildung 5: Repositionsergebnis nach Bauchlagerung.....	22
Abbildung 6: Querschnitt durch die Rückenmuskulatur.....	23
Abbildung 7: Schanz-Schrauben vor Einbringen in Pedikel.....	24
Abbildung 8: Schraubenlage.....	25
Abbildung 9: Indirekte biseg. Reposition durch Lordisierung und Distraction.....	26
Abbildung 10: Instrumentarium für die minimalinvasive dorsale biseg. Stabilisierung.....	28
Abbildung 11: Einbringen des Längsträgers mittels Handgriff.....	29
Abbildung 12: Schanz-Schrauben und angelegte Schraubenschlüsseln.....	30
Abbildung 13: Längsträger im Set.....	30
Abbildung 14: nach der Reposition mit lordotisch vorgebogenen Längsträgern.....	31
Abbildung 15: Bisegmentale GDW seitlich und a.-p. bei LWK 1-Fraktur.....	34
Abbildung 16: Körperwinkel bei LWK 1-Fraktur.....	35
Abbildung 17: Formel der relativen Höhe des gebrochenen Wirbelkörpers	35
Abbildung 18: Relative Höhe des gebrochenen Wirbelkörpers.....	36
Abbildung 19: Formel der verbliebenen Öffnung des Spinalkanals.....	36
Abbildung 20: Die verbliebene Öffnung des Spinalkanals präoperativ.....	37
Abbildung 21: Klassifikation der Pedikelschraubenlage nach Zdichavsky.....	38
Abbildung 22: Backen-Knochen-Abstand.....	39
Abbildung 23: Zementleckage an den Schrauben nach Zementaugmentation	40
Abbildung 24: Poweranalyse mit GPower	41
Abbildung 25: Prozentualer Anteil der Frakturhöhen in beiden Grundkollektiven.....	43
Abbildung 26: Prozentualer Anteil der Frakturtypen in der Grundkollektiven.....	44
Abbildung 27: Anzahl der Patienten mit Begleitverletzungen pro Gruppe.....	46
Abbildung 28: Anzahl der Patienten mit Begleiterkrankungen pro Gruppe.....	48
Abbildung 29: Stationäre Aufenthaltsdauer in beiden Gruppen.....	49

Abbildung 30: Operationsdauer für beide Gruppen.....	51
Abbildung 31: Blutverlust in beiden Gruppen.....	52
Abbildung 32: Bisegmentaler sagittaler GDW für Gruppe OFFEN.....	54
Abbildung 33: Bisegmentaler sagittaler GDW für Gruppe MIS.....	55
Abbildung 34: Korrekturumfang des bisegmentalen sagitalen GDWs postoperativ.....	56
Abbildung 35: Korrekturumfang des bisegmentalen sagitalen GDWs nach der Lagerung.....	57
Abbildung 36: Bisegmentaler a.-p. GDW für Gruppe OFFEN.....	58
Abbildung 37: Bisegmentaler a.-p. GDW für Gruppe MIS.....	58
Abbildung 38: Körperwinkel in beiden Gruppen prä- und postoperativ.....	60
Abbildung 39: Relative WK-Höhe in beiden Gruppen prä- und postoperativ.....	60
Abbildung 40: Spinalkanalweite in beiden Gruppen prä- und postoperativ.....	61
Abbildung 41: Knochen-Backen-Abstand in der Gruppe OFFEN.....	63
Abbildung 42: Knochen-Backen-Abstand in der Gruppe MIS.....	64

12. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vorteile und Nachteile der beiden Methoden.....	15
Tabelle 2: Klassifikation der Pedikelschraubenlage nach Zdichavsky.....	38
Tabelle 3: Zahl der Frakturtypen in der Grundkollektiven.....	45
Tabelle 4: Art der Begleiterkrankungen in beiden Gruppen.....	48
Tabelle 5: Mittelwert des bisegmentalen sagittalen GDWs in beiden Gruppen.....	53
Tabelle 6: Mittelwert des KWs und der relativen WK-Höhe in beiden Gruppen.....	59
Tabelle 7: Spinalkanalweite in beiden Gruppen prä- und postoperativ.....	62
Tabelle 8: Mittelwert des Knochen-Backen-Abstandes in beiden Gruppen.....	63
Tabelle 9: Stationärer Aufenthalt in beiden Gruppen eigener und verschiedener Studien.....	67
Tabelle 10: Operationsdauer in beiden Gruppen eigener und verschiedener Studien.....	69
Tabelle 11: Blutverlust in beiden Gruppen eigener und verschiedener Studien.....	70
Tabelle 12: Korrekturumfang des sagittalen GDWs in beiden Gruppen eigener und ähnlicher Studien.....	72
Tabelle 13: Korrekturumfang des sagittalen GDWs in beiden Gruppen nach Lagerung.....	73
Tabelle 14: KW und Korrekturumfang in beiden Gruppen eigener und ähnlicher Studien.....	74
Tabelle 15: Relative WK-Höhe und Korrekturumfang in beiden Gruppen eigener und verschiedener Studien.....	75