

Aus der Neurochirurgischen Klinik und Poliklinik
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Traumatische Wirbelsäulenfrakturen bei Mehrfachverletzten: eine Vergleichsstudie
zwischen alleiniger dorsaler Stabilisierung und kombinierter dorsoventraler
Versorgung

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Medizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Ali Mulhem
aus Damaskus, Syrien

Mainz, 2025

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. Hansjörg Schild

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion: 16. Juli 2025

Für meine Eltern in der Heimat

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	3
1 Einleitung / Ziel der Dissertation.....	1
1.1 Wirbelsäulenfrakturen	1
1.2 Operative Behandlung der Wirbelsäulenfrakturen	2
2 Fragestellung	4
2.1 Forschungsfrage	4
2.2 PICO-Schema.....	4
3 Material und Methoden	5
3.1 Studiendesign	5
3.2 Ein- und Ausschlusskriterien	7
3.3 Patientengruppen.....	7
3.4 Chirurgische Techniken.....	9
3.5 Datenextraktion.....	10
3.5.1 Datenvariablen	10
3.5.2 Ergebnismessung.....	12
3.6 Statistische Analyse	15
4 Ergebnisse.....	15
4.1 Ein/Ausgeschlossene Patienten	15
4.2 Demografische Eigenschaften.....	16
4.3 Bildmorphologische Outcomes.....	18
4.4 Klinische Outcomes	21
4.4.1 Schmerzen nach VAS	21
4.4.2 Neurologischer Status	23
4.4.3 Postoperative Komplikationen	24
5 Diskussion	25
6 Schlussfolgerungen	31
7 Zusammenfassung	33
8 Literaturverzeichnis.....	35
9 Anhang	40
9.1 Liste der Datenvariablen mit Beschreibung, Kodierung und Einheiten.....	40
9.2 Tabelle für deskriptive Statistik über bildmorphologische Outcomes	41
10 Danksagung.....	42
11 Tabellarischer Lebenslauf	43

Abkürzungsverzeichnis

AO: Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese

BWS: Brustwirbelsäule

CI: Confidence Interval

CT: Computer-Tomographie

DGU: Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie

EW: Einwohner

Hb: Hämoglobin

HWS: Halswirbelsäule

ICD: International Classification of Diseases

IQR: Interquartile Range

KFH: Klinikum im Friedrichshain

LVH: Loss of Vertebral Height

LWS: Lendenwirbelsäule

M: Mittelwert

ORBIS: Organisation, Beratung und innovatives Systemengineering (Klinik-Datenmanagement-System)

POR: Proportional Odds Ratio

SD: Standard Deviation

SI: Sagittal Index

VAS: Visuelle Analog Skala

WHO: World Health Organisation

Abbildungsverzeichnis

Abbildung	Bezeichnung	Seite
1	Eine Röntgen-Aufnahme als Beispiel für die chirurgische Behandlung in Gruppe I (alleinstehende dorsale Stabilisierung).	8
2	Eine Röntgen-Aufnahme als Beispiel für die chirurgische Behandlung in Gruppe II (kombinierter dorsaler ventraler Ansatz).	9
3	Messung des sagittalen Index (SI) und des Verlusts der Wirbelhöhe (LVH) bei einem 28-jährigen Patienten mit einer T10-Fraktur nach einem Sturz aus großer Höhe (kein Suizid).	13-14
4	Der sagittale Index (SI) der beiden Gruppen zu verschiedenen Zeitpunkten	19
5	Der Verlust der Wirbelhöhe (LVH) in den beiden Gruppen zu verschiedenen Zeitpunkten	20
6	Der Schmerz nach VAS in den beiden Gruppen zu verschiedenen Zeitpunkten	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle	Bezeichnung	Seite
1	Demografische Eigenschaften	17-18
2	Bildmorphologische Outcomes (SI und LVH) bei der Nachuntersuchung durch gemischte Regressionsanalyse mit Anpassung an die Basiswerte von SI und LVH zwischen den beiden Gruppen	21
3	Schmerz nach VAS der beiden Gruppen zu verschiedenen Zeitpunkten	23
4	Detaillierte Auflistung der postoperativen Komplikationen in den beiden Gruppen	25

1 Einleitung / Ziel der Dissertation

1.1 Wirbelsäulenfrakturen

Wirbelsäulenfrakturen sind weit verbreitet. In der nordamerikanischen Literatur wurde zwischen 1981 und 1984 eine jährliche Inzidenz von 64 Fällen pro 100.000 Einwohner (EW) beschrieben (Hu 1996). Heutzutage lässt sich eine deutliche Zunahme beobachten: Im Jahr 2019 wurde in Deutschland eine Inzidenz von etwa 128 Fällen pro 100.000 EW berichtet, was einem Anstieg von 50 % im Vergleich zu 2009 entspricht (Rupp 2021). Traumata bleiben nach Osteoporose die zweithäufigste Ursache für diese Frakturen, wobei sie bei Patienten mit Trauma ohne offene Verletzungen in 7 % bis 30 % der Fälle auftreten können (Whitney 2022; Katsuura 2016; Schnikel 2007).

Traumatische Wirbelsäulenfrakturen treten häufig im Zusammenhang mit einem Polytrauma auf (Schnikel 2007). Laut der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) bezeichnet der Begriff „Polytrauma“ eine lebensbedrohliche, gleichzeitig entstandene Verletzung mehrerer Körperregionen oder Organsysteme (Aschenbrenner 2012). Bei etwa 20 % der Polytrauma-Patienten lassen sich Wirbelsäulenfrakturen nachweisen, und in 10 % der Fälle sind diese mit neurologischen Defiziten verbunden (Schnikel 2007). Betroffen sind meist jüngere Erwachsene, deren produktive Arbeitsjahre durch solche Verletzungen erheblich beeinträchtigt werden. Dies führt zu einer hohen medizinischen, sozialen und wirtschaftlichen Belastung (Katsuura 2016; Schnikel 2007; Leucht 2009).

Die Ursachen traumatischer Wirbelsäulenfrakturen reichen von Stürzen aus großer Höhe über Verkehrsunfälle (Auto, Motorrad, Fahrrad) bis hin zu anderen Unfallmechanismen wie Stürzen auf Treppen (Schnikel 2007; Leucht 2009; Hu 1996).

Diese Patienten werden häufig im Rahmen eines Polytraumas in Krankenhäuser eingeliefert, wobei die Frakturen meist in der Brust- bzw. Lendenwirbelsäule (BWS bzw. LWS) auftreten (Whitney 2022).

Eine isolierte, schwerwiegende traumatische Wirbelsäulenfraktur der BWS/LWS, die nicht im Rahmen eines Polytraumas auftritt, ist bei jüngeren Patienten ohne Osteoporose oder andere Knochenerkrankungen selten (Whitney 2024). Daher liegt der Fokus dieser Arbeit auf Patienten mit schweren traumatischen Wirbelsäulenfrakturen der BWS/LWS im Rahmen eines Polytraumas (Mulhem 2021).

1.2 Operative Behandlung der Wirbelsäulenfrakturen

Zur Behandlung und Stabilisierung dieser Frakturen kommen verschiedene chirurgische Techniken zum Einsatz, wie der dorsale Zugang mit transpedikulärer Schrauben-Stab-Fixation, mit oder ohne Entfernung des Implantats nach Frakturheilung, sowie der kombinierte dorsale und ventrale Ansatz, bei dem die dorsale Fixation durch eine anteriore Stabilisierung mit Wirbelkörperersatz unterstützt wird. Trotz zahlreicher Studien bleibt die Frage nach der optimalen chirurgischen Behandlung weiterhin zwischen alleiniger dorsaler Stabilisierung und kombiniertem dorsoventralem Ansatz offen (Yüksel 2016).

Für eine umfassende Beurteilung der chirurgischen Ergebnisse empfehlen viele Autoren, nicht nur die kurzfristigen klinischen Resultate zu betrachten, sondern auch die Korrektur, bzw. den Korrekturverlust von durch die Frakturen verursachten Deformitäten zu analysieren. Bedeutend dafür sind insbesondere das sagittale Alignment und die Minderung der Wirbelhöhe. Frühere Studien haben eine positive Korrelation zwischen dem sagittalen Index (SI) und dem Loss of Vertebral Height (LVH) mit den langfristigen klinischen Ergebnissen aufgezeigt (Yüksel 2016; Farcy

1990; Keene 1984). Patienten mit einem erhöhten SI (was auf eine Fehlstellung hinweist) und einem größeren LVH (was auf eine stärkere Kompression hindeutet) neigen häufiger dazu, schwerwiegende neurologische Schäden zu erleiden oder zu entwickeln, verglichen mit Patienten, die einen geringeren Grad an Deformität aufweisen (Yüksel 2016; Singh 2015).

Eine Pilotstudie, die das bildmorphologische Ergebnis zwischen alleiniger dorsaler Stabilisierung und kombiniertem dorsoventralem Ansatz bei Patienten mit schweren traumatischen Wirbelsäulenfrakturen verglich, zeigte, dass der kombinierte Ansatz eine bessere Korrektur des sagittalen Alignments und der Höhenminderung bewirken kann. Allerdings war die Nachbeobachtungszeit bei einigen Patienten relativ kurz (3 Monate), und klinische Ergebnisse wurden nicht erfasst oder verglichen. Zudem war die Stichprobe mit 71 Patienten relativ klein (Mulhem 2024).

Obwohl in der Pilotstudie statistisch signifikante Unterschiede festgestellt wurden, zeigte sich, dass diese vor allem auf bildmorphologische Ergebnisse zurückzuführen sind, die als indirekte Hinweise auf die klinische Relevanz dienen. Die Analyse postoperativer Komplikationen ergab jedoch, dass die alleinige dorsale Stabilisierung anfälliger für Implantatversagen war, was später zu einem erhöhten Risiko für klinische Verschlechterungen führen könnte. Eine Ausweitung der Pilotstudie mit einer größeren Stichprobe, längerer Nachbeobachtungszeit und der Erfassung zusätzlicher klinischer Ergebnisse ist geplant, um diese Einschränkungen in künftigen Untersuchungen zu beheben (Mulhem 2024).

Klinische Ergebnisse nach der Behandlung von Wirbelsäulenfrakturen werden durch die Erfassung von Schmerzprofilen und dem funktionalen Status der Patienten ermittelt. Dies erfolgt in der Regel mithilfe klinischer Skalen wie die Visuelle Analog

Skala (VAS) zur Schmerzbewertung und funktionelle Skala für die neurologischen Defizite, wie dem ASIA-Score, etc. (Jäckle 2024; Roberts 2017). Daher ist die Berücksichtigung diesen beiden Outcomes für die Erweiterung der Pilotstudie geeignet.

2 Fragestellung

2.1 Forschungsfrage

Bei Patienten mit schweren traumatischen Wirbelsäulenfrakturen der BWS/LWS im Rahmen eines Polytraumas: Führt der kombinierte dorsoventrale chirurgische Ansatz im Vergleich zur alleinigen dorsalen Stabilisierung zu einer besseren Korrektur des sagittalen Alignments, einem geringeren Risiko für postoperative Komplikationen und besseren langfristigen klinischen Ergebnissen?

2.2 PICO-Schema

Zur weiteren Erläuterung wird die oben genannte Fragestellung dieser Arbeit nach dem PICO-Schema formuliert. Das PICO-Schema ist eine nützliche Methode zur Formulierung klarer Fragestellungen in wissenschaftlichen Arbeiten, insbesondere in der Medizin (Nishikawa-Pacher 2022):

- **P (Patient, Population oder Problem):**
Patienten mit schweren traumatischen Wirbelsäulenfrakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule (BWS/LWS), die im Rahmen eines Polytraumas behandelt werden.
- **I (Intervention):**
Kombinierter dorsoventraler chirurgischer Ansatz (dorsale transpedikuläre Schrauben-Stab-Stabilisierung kombiniert mit ventralem Wirbelkörperersatz).

- **C** **(Comparison):**
Alleinige dorsale Stabilisierung (dorsaler Zugang mit transpedikulärer Schrauben-Stab-Stabilisierung).
- **O** **(Outcomes):**
Bessere Korrektur des sagittalen Alignments (SI), verbesserte Korrektur der Wirbelhöhenminderung (LVH), Risiko für postoperative Komplikationen sowie langfristige klinische Ergebnisse (über 12 Monate Follow-up) anhand der Visuellen Analog Skala (VAS) für Schmerzen und der Zuordnung der neurologischen Defizite.

3 Material und Methoden

3.1 Studiendesign

Es handelt sich in dieser Arbeit um eine monozentrische, retrospektive longitudinale Kohorten-Studie mit einer Auswertung von Patientendaten aus dem vorhandenen Klinik-Dokumentationssystem *ORBIS®* (**O**rganisation, **B**eratung und **i**nnovatives **S**ystemengineering, Dedalus HealthCare, Bonn). Das *ORBIS®* ist ein Software, verwendet zur Dokumentation der Arbeitsabläufe in Medizin, Administration und Management von Einrichtungen, u.a. Krankenhäuser, im Gesundheitswesen. Die Patientendaten in dieser Arbeit stammen aus ärztlichen Aufnahmeberichte, ärztlichen klinischer Verlauf Dokumenten, OP-Berichten, Entlassungsarztbriefe, und poststationären ärztlichen Berichten.

Die Patienten in dieser Arbeit wurden in dem zertifizierten überregionalen Trauma-Zentrum Vivantes Klinikum im Friedrichshain (KFH) in Berlin aufgrund eines Polytraumas mit in der Computer-Tomographie (CT) nachgewiesenen Wirbelsäulenfrakturen zwischen dem 01.01.2015 und dem 30.09.2024 stationär behandelt. Das KFH ist ein kommunales Krankenhaus mit Standort Berlin Mitte Ost

und versorgt als Einzugsgebiet regional ca. 650 000 bis 800 000 EW. Neben der Funktion eines Krankenhauses der Maximalversorgung ist es zudem eines von drei zertifizierten überregionalen Trauma-Zentren in Berlin. Hierdurch ist der Standort qualitativ optimal für Patienten mit Mehrfachverletzungen geeignet.

Ein Polytrauma wird nach DGU als gleichzeitig entstandene Verletzung mehrerer Körperregionen oder Organsysteme definiert. In der Regel werden diese Patienten durch den Rettungsdienst mit Notarztbegleitung ins Krankenhaus eingeliefert. Die erste Versorgung der polytraumatisierten Patienten im KFH wird im Schockraum der Rettungsstelle durch das Trauma-Team durchgeführt. Das Team besteht aus: einem Unfallchirurg, zwei Anästhesisten, einem Neurochirurgen, einem Allgemeinchirurgen, sowie mindesten drei Pflegern und einem Radiologen. Nach der kardiopulmonalen Stabilisierung des Patienten und Erfassung der vitalen Parameter wird die weitere Diagnostik entschieden. Normalerweise erfolgt innerhalb von 5 Minuten ein Polytrauma-CT (Ganzkörper CT).

Dieser Algorithmus wurde im KFH im o.g. Zeitraum routinemäßig durchgeführt und digital dokumentiert. Daher wurde dieser Zeitraum der Studie aufgrund des Vorhandenseines einer Struktur-, Behandlungs-, und Beobachtungsgleichheit der Polytraumata in der o.g. Klinik gewählt.

Um die Fälle aus dem *ORBIS*® zu definieren, wurden folgende ICD-10 Codes (International Classification of Diseases-10) verwendet: S22.- = Fraktur der Brustwirbelsäule, S32.- = Fraktur der Lendenwirbelsäule, und des Sakrums (World Health Organisation 2015).

3.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Die Patienten wurden gemäß den folgenden Eignungskriterien ein- bzw. ausgeschlossen:

1. Patienten jeglichen Alters, die nur als Polytrauma in den Schockraum der Klinik (KFH) eingeliefert. Das Polytrauma wurde nach DGU als gleichzeitig entstandene Verletzung mehrerer Körperregionen oder Organsystem definiert.
2. Patienten wurden eingeschlossen, wenn sie mit einer Wirbelsäulenfraktur an einem beliebigen Wirbel der Brust- (BWS) bzw. Lendenwirbelsäule (LWS) (von BW1 bis LW5) mittels Polytrauma-CT diagnostiziert wurden.
3. Patienten mit Frakturen der Halswirbelsäule (HWS) bzw. mit pathologischen Wirbelsäulenfrakturen (aufgrund von Osteoporose, Tumoren, Metastasen, bzw. entzündliches Geschehen) wurden ausgeschlossen.
4. Es wurden ausschließlich Patienten einbezogen, die operativ entweder mit einem alleinigen dorsalen oder einem kombinierten Ansatz behandelt wurden. Der chirurgische Zugang wurde nach dem Ermessen des behandelnden Neurochirurgen ausgewählt.

3.3 Patientengruppen

Die Kohorte wurde basierend auf dem chirurgischen Ansatz in zwei Gruppen unterteilt: Gruppe I erhielt eine alleinige dorsale Stabilisierung mittels transpedikulärer Schrauben und Stäbe (siehe Abbildung 1A und 1B), während Gruppe II zunächst die gleiche dorsale Stabilisierung wie Gruppe I durchlief, gefolgt von einer zweiten chirurgischen Intervention innerhalb von weniger als zwei Wochen, bei der der gebrochene Wirbel durch einen titangefertigten Cage ersetzt wurde (siehe Abbildung 2A und 2B).

Abbildung 1. Eine Röntgen-Aufnahme als Beispiel für die chirurgische Behandlung in Gruppe I (alleinige dorsale Stabilisierung).A. Anterior-posterior (AP) Aufnahme, B. Seitliche Aufnahme.

A.

B.

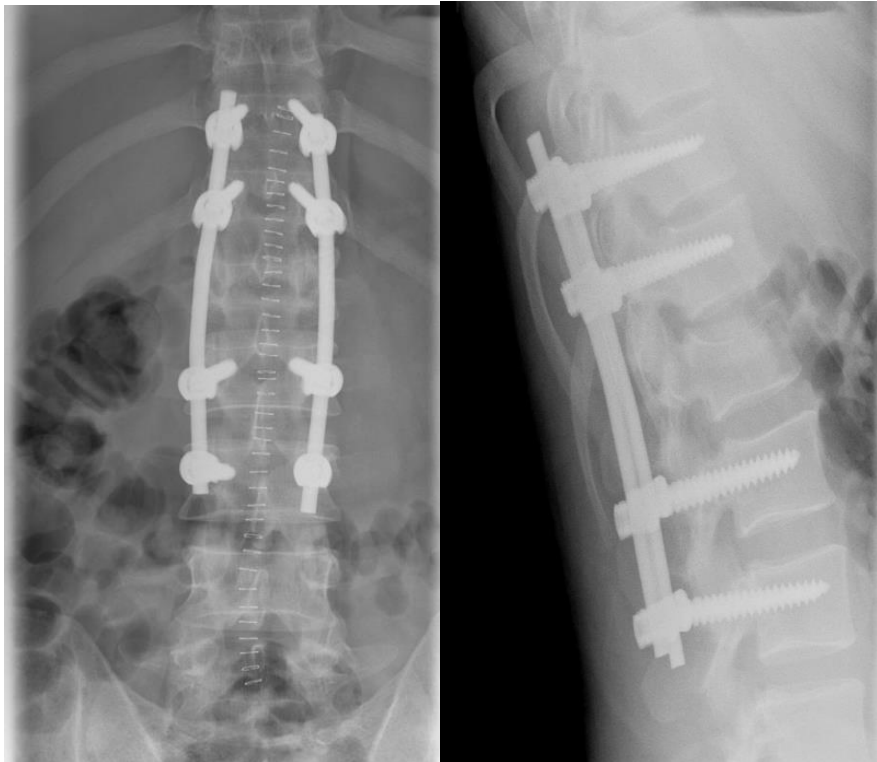
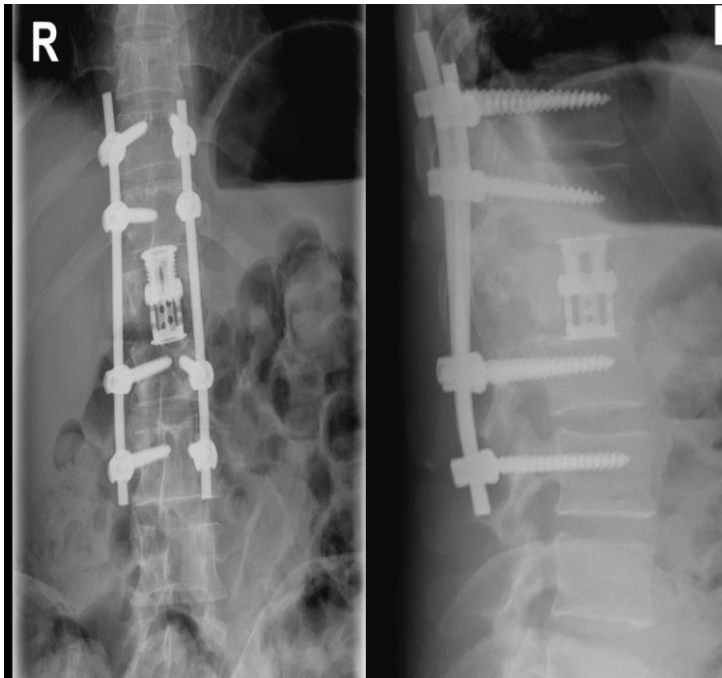


Abbildung 2. Eine Röntgen-Aufnahme als Beispiel für die chirurgische Behandlung in Gruppe II (kombinierter dorsalerventraler Ansatz). A. Anterior-posterior (AP) Aufnahme, B. Seitliche Aufnahme.

A.

B.



3.4 Chirurgische Techniken

Nach der initialen klinischen und radiologischen Bewertung sowie der kardiopulmonalen Stabilisierung der Patienten in der Notaufnahme wurden die Patienten auf die Operation vorbereitet. Der dorsale Zugang erfolgte in Bauchlage über einen medianen Schnitt über dem gebrochenen Wirbel, um, falls nötig, eine Dekompression durchzuführen. Die Implantation der Pedikelschrauben wurde entweder durch eine offene Technik realisiert, indem der mediane Schnitt auf zwei Segmente über und zwei Segmente unter der Fraktur erweitert wurde, oder durch eine perkutanen Technik mittels kleiner paravertebraler Schnitte. In dem gebrochenen Segment wurden keine Schrauben eingesetzt. Der ventrale Zugang wurde in einer

seitlichen Linksposition über den transthorakalen Zugang durchgeführt, wenn die Frakturen sich in den thorakalen oder thorakolumbalen Regionen (d.h. von BW1 bis LW1) befanden, oder über den retroperitonealen Zugang, wenn die Frakturen im lumbalen Bereich (d.h. von LW2 bis LW4) lagen. Patienten mit LW5-Frakturen wurden in Rückenlage mit einem medianen Schnitt unterhalb des Nabels, ggf. in Zusammenarbeit mit einem Gefäßchirurgen, operiert. Der ventrale Zugang umfasste die partielle Resektion des gebrochenen Wirbels, ggf. Dekompression des Spinalkanals und die Implantation eines intervertebralen Cages, der mit autologem Knochen gefüllt wurde.

3.5 Datenextraktion

3.5.1 Datenvariablen

Nach der Identifikation geeigneter Patienten wurden bei jedem eingeschlossenen Fall 35 Datenelemente (siehe Anhang) aus dem digitalen ORBIS®-System erfasst und anonym in einer Excel-Tabelle eingegeben.

An dieser Stelle sollen einige Erläuterungen zu den Definitionen der Datenelemente gegeben werden:

1. **Klassifikation:** Diese Variable bezeichnet die Wirbelfraktur gemäß der AO-Klassifikation (Klassifikation der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese) (Schnake 2017).
2. **Fraktur:** Diese Variable bezeichnet den frakturierten Wirbel (der Wirbel setzt sich aus dem Wirbelkörper, den Pedikeln, den Wirbelbögen, den Facettengelenken und dem Dornfortsatz zusammen). Wenn mehrere frakturierte Wirbel vorlagen, wurde diese Variable dem Wirbel mit dem höheren Klassifikationsgrad (siehe Punkt 1) zugeordnet.

3. **Genese:** Diese Variable kategorisiert den Traumamechanismus in die folgenden Kategorien: Suizidsprung, Fallen aus größerer Höhe, Verkehrsunfall und Andere. Dabei wird ein Selbstmordversuch als selbstverschuldetes Trauma definiert (validiert durch die Überprüfung ärztlicher Dokumentationen, einschließlich Notarzt, Polytraumateam im Schockraum und weiterer behandelnder Ärzte, einschließlich psychiatrischer Konsile während des stationären Aufenthalts). Alle anderen Kategorien (Sturz, Verkehrsunfall und Andere) werden als unabsichtliche akzidentelle Traumata klassifiziert.
4. **Begleitverletzungen:** Als Begleitverletzungen wurden alle im Polytrauma-CT nachgewiesenen Verletzungen erfasst, einschließlich Kopf, Schultergürtel (einschließlich Schlüsselbein und Schulterblatt), obere Extremitäten, Thorax, Abdomen, Becken, untere Extremitäten und Wirbelsäule.
5. **Defizite:** Diese Variable bezeichnet das Vorhandensein initialer neurologischer Defizite, die bei der Vorstellung des Patienten vorhanden waren.
6. **Outcome:** Diese Variable beschreibt den Verlauf der initialen neurologischen Defizite (siehe Punkt 5) nach einer ordinalen Skala von 1 bis 3, die bei der Vorstellung im Follow-up gemessen wurde. Dabei steht 1 für eine Verschlechterung der initialen neurologischen Defizite (d.h. postoperative neurologische Defizite traten im Follow-up auf), 2 für stabile neurologische Defizite (d.h. keine Änderung im Follow-up) und 3 für eine Verbesserung im Follow-up.
7. **Komplikation:** Bei dieser Variable wurden die postoperative Komplikationen in beiden Gruppen erfasst. Komplikationen wurden definiert als jegliche postoperative Bedingung, die mit der chirurgischen Behandlung in

Zusammenhang stand und spezifische Behandlung oder eine erneute Einweisung ins Krankenhaus erforderte.

3.5.2 Ergebnismessung

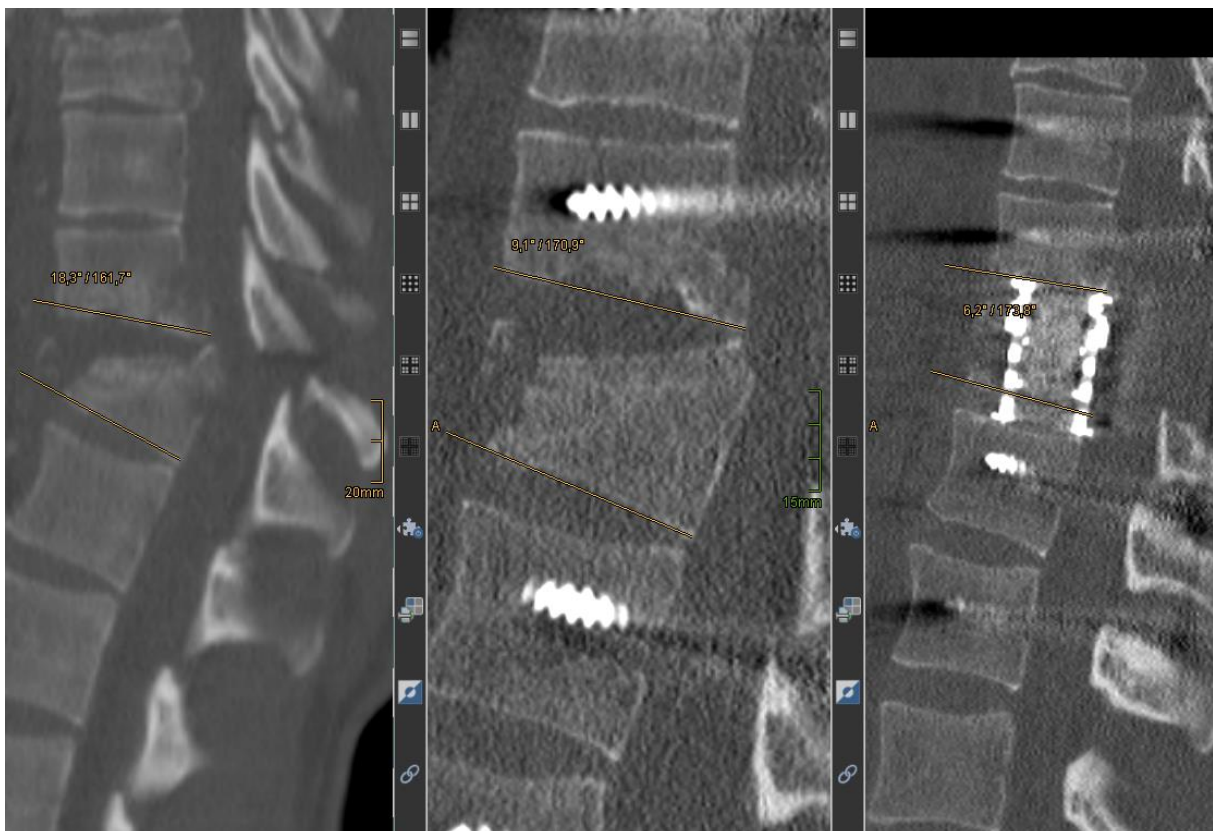
Die Messungen umfassten den sagittalen Index (SI) nach der Farcy-Methode (Farcy 1990) sowie die Höhenminderung (Loss of Vertebral Height, LVH), die durch die Keene-Methode geschätzt wurde (Keene 1984). Die Messwerte basierten auf CT- oder Röntgenaufnahmen.

Die Berechnung des SI bestand darin, den kyphotischen Winkel zwischen Grund- und Deckplatte des gebrochenen Bewegungssegments zu ermitteln und von dem erwarteten Wert bei normaler Kontur bzw. harmonischem Alignement, abzuziehen. Die Basiswerte betragen 5° im thorakalen Bereich, 0° an der thorakolumbalen Übergangsstelle und -10° im lumbalen Bereich. Ein SI von null deutete auf eine perfekte Ausrichtung hin, während jede Abweichung, ob kleiner oder größer als null, als Absolutwert erfasst wurde. Dieser Ansatz ermöglichte eine standardisierte Skala für alle Wirbelsäulenregionen und zeigt Fehlstellungen an (Farcy 1990). Abbildung 3A zeigt ein Beispiel für die SI-Messung.

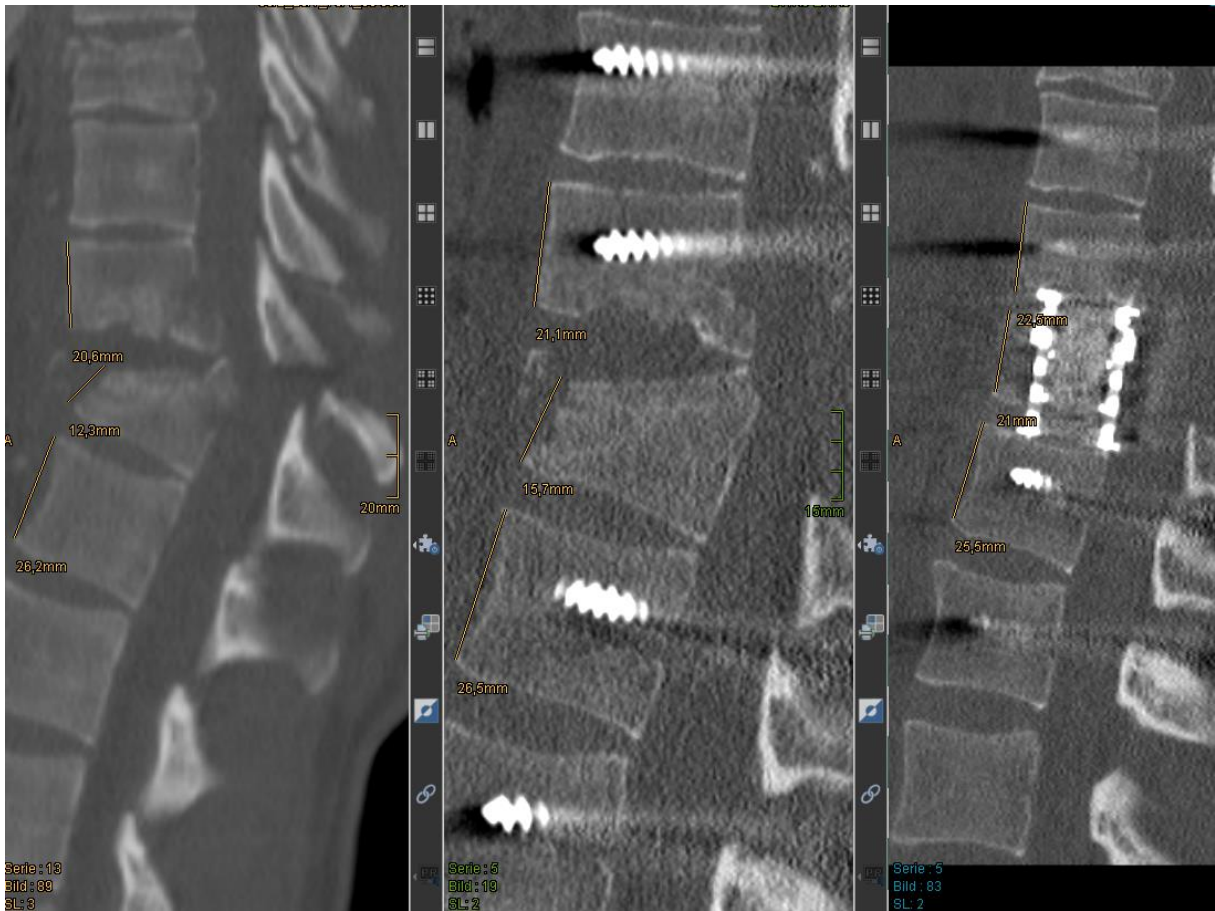
Der LVH wurde als Verhältnis der anterioren Höhe des verletzten Wirbels zur durchschnittlichen anterioren Höhe der beiden angrenzenden intakten Wirbel definiert. Ein LVH von 1 stellte die standardmäßige perfekte Höhe dar, während jeder Wert darunter auf einen Höhenverlust hinwies, wobei null die untere Grenze des LVH darstellt (Keene 1984). Abbildung 3B bietet ein Beispiel für die LVH-Messung.

Abbildung 3: Messung des sagittalen Index (SI) und des Verlusts der Wirbelhöhe (LVH) bei einem 28-jährigen Patienten mit einer T10-Fraktur nach einem Sturz aus großer Höhe (kein Suizid). A. Die Messung des SI (linkes Bild bei der Vorstellung = $18,3^\circ + 5^\circ = 23,5^\circ$, mittleres Bild nach dorsaler Stabilisierung = $9,1^\circ + 5^\circ = 14,1^\circ$, rechtes Bild nach dem kombinierten Ansatz = $6,2^\circ + 5^\circ = 11,2^\circ$). A. Die Messung des LVH (linkes Bild bei der Vorstellung = $12,3/0,5(20,6+26,2) = 0,526$, mittleres Bild nach dorsaler Stabilisierung = $15,7/0,5(21,1+26,5) = 0,660$, rechtes Bild nach dem kombinierten Ansatz = $21/0,5(22,5+25,5) = 0,875$).

A.



B.



Die Schmerzerfassung erfolgte mittels der visuellen Analog Skala (VAS) durch das ärztliche oder pflegerische Team. Wenn der Zustand des Patienten eine Befragung nicht zuließ, wurden keine Daten erfasst, was als fehlende Daten (Missing Data) galt.

SI, LVH und VAS wurden zu vier Zeitpunkten gemessen: zu Beginn (bei der Vorstellung in den Gruppen I und II), nach der dorsalen Stabilisierung (in den Gruppen I und II), nach dem kombinierten Ansatz (in Gruppe II) unter Verwendung von CT-Scans in Rückenlage sowie bei einem Follow-up von mindestens 3 Monaten (in den Gruppen I und II) unter Verwendung von überwiegend Röntgenaufnahmen in stehender Position, wenn möglich, oder durch CT-Scans.

3.6 Statistische Analyse

Deskriptiv wurden die kontinuierlichen Variablen als Mittelwert (M) \pm Standardabweichung (SD = Standard Deviation) oder als Median und Interquartilsabstand (IQR= Interquartile Range) angegeben. Kategoriale Variablen wurden als absolute Zahlen oder Prozentsätze dargestellt. Die deskriptive Statistik wurde für die zwei Gruppen angegeben.

Zur Berechnung des Unterschiedes zwischen beiden Gruppen wurde der exakte Test nach Fisher für die Kategoriale Variablen (postoperative Komplikationen) benutzt (Jowett 1956).

Die Vergleiche von SI, LVH und VAS zwischen den Gruppen wurden unter Verwendung eines gemischten Effektregressionsmodells durchgeführt, das an die Ausgangswerte angepasst war (Schober 2021). Der Vergleich des neurologischen Outcomes erfolgte mittels eines Proportional Odds Ratio-Modells (POR), wobei die Gruppe als unabhängige Variable und das Outcome (siehe Punkt 6 unter Datenvariablen) als abhängige Variable berücksichtigt wurden (Lapin 2018). Die statistische Signifikanz wurde auf einen p-Wert von 0,05 festgelegt. Die 95% Confidence Interval (CI) wurde angegeben. Alle Analysen wurden mit StataCorp. 2020. Stata Statistical Software: Release 17. College Station, TX: StataCorp LLC. durchgeführt.

4 Ergebnisse

4.1 Ein/Ausgeschlossene Patienten

Im Dokumentationssystem ORBIS® des KFHs wurden im Zeitraum vom 01.01.2015 bis zum 30.09.2024 insgesamt 693 Fälle unter den verwendeten ICD-10-Codes erfasst und auf die Eignungskriterien überprüft. Von diesen wurden 616 Patienten ausgeschlossen: In 310 Fällen handelte es sich um einfaches Trauma, d.h. kein

Polytrauma. In 32 bzw. 161 Fällen lagen pathologische bzw. osteoporotische Frakturen vor. In 47 Fällen wurde keine operative Therapie durchgeführt. Zudem wurden in 66 Fällen andere Ausschlussgründe angegeben (entweder keine Wirbelsäulenfraktur oder eine alte Fraktur im Polytrauma-CT nachgewiesen).

Letztlich konnten 77 mehrfachverletzte Patienten mit Wirbelsäulenfrakturen in die Studie aufgenommen werden. Darunter waren 31 Patienten in Gruppe I und 46 in Gruppe II.

4.2 Demografische Eigenschaften

Tabelle I fasst die demografischen Eigenschaften zusammen. Das durchschnittliche Alter in Gruppe I betrug $M = 41$ Jahre ($SD = 21$) und war vergleichbar mit dem in Gruppe II, $M = 38$ Jahre ($SD = 12$). In Gruppe I gab es 18 Männer und 13 Frauen, während in Gruppe II 29 Männer und 17 Frauen waren. Die häufigste Verletzungsursache in beiden Gruppen war der Suizidsprung, gefolgt von Stürzen aus großer Höhe und Verkehrsunfällen. Andere Ursachen umfassten überwiegend Treppenstürze.

Der initial gemessene Hb-Wert bei der Aufnahme war in beiden Gruppen vergleichbar, jedoch im unteren Normbereich (Referenzwerte: Frauen 12–15,6 g/dl; Männer 12,5–17,2 g/dl). Am häufigsten waren die Wirbel am anatomischen Übergang der Brust- und Lendenwirbelsäule (BWS/LWS), insbesondere BW12 und LW1, betroffen. Die meisten Verletzungen waren Kompressionsfrakturen, die gemäß der AO-Klassifikation überwiegend zwischen A3 und A4 eingestuft wurden. Frakturen der Klassifikationsstufen B und C traten seltener auf.

Insgesamt wiesen 68 (88%) der Patienten Begleitverletzungen im Polytrauma-CT auf, während bei nur 9 (12%) Patienten die Wirbelsäulenfraktur die einzige bildmorphologische nachgewiesene Verletzung war. Begleitverletzungen traten bei den meisten Patienten in beiden Gruppen am häufigsten in anderen Wirbeln, den unteren Extremitäten und am Thorax auf (siehe Tabelle I). Kein Patient in beiden Gruppen verstarb bis zum Follow-up, das einen Median von 16 Monaten in Gruppe I und 19 Monaten in Gruppe II betrug.

Tabelle 1. Demografische Eigenschaften

Variable	Gruppe I (alleinstehende dorsale Stabilisierung (N= 31))	Gruppe II (kombinierter Ansatz) (N= 46)
Alter (M±SD) in Jahre	41 ± 21	38 ±18
Geschlecht (M/W) ¹	18/13	29/17
Verletzungsmechanismus:		
Suizidsprung	13	27
Fallen	5	13
Verkehrsunfall	10	6
Andere	3	0
Initiales Hb (M± SD) in g/dl	12± 2	13 ± 2
Region der Fraktur:		
BWS	10	6
BWS/LWS Übergang*	13	26
LWS	8	14
Begleitverletzungen**:	26	42
Kopf	8	13
Schultergürtel	5	3
Thorax	17	26
Abdomen	7	10
Becken	9	17
Obere Extremitäten	10	9
Untere Extremitäten	15	22
Weitere WS-Fx***	25	34
Klassifikation****:		
A3	12	11
A4	10	28
B	7	3
C	2	4

Follow-up Median (IQR) in Monaten	16 (6-22)	19(8-25)
Letalität	0	0

- *: BWS/LWS Übergang umfasst BW12 und LW1. **: Die Anzahl der Patienten mit Begleitverletzungen summiert sich nicht auf die Gesamtzahl, da ein Patient mehrere Begleitverletzungen aufweisen kann. ***: Begleitwirbelsäulenfrakturen (siehe Abschnitt 3.5.1). ****: nach AO-Klassifikation.

4.3 Bildmorphologische Outcomes

Der sagittale Index zeigte nach der dorsalen Stabilisierung in beiden Gruppen eine deutliche Verbesserung (Verringerung) (siehe Abbildung 4). In Gruppe II war nach dem anterioren Ersatz des gebrochenen Wirbels eine geringfügige zusätzliche Verbesserung zu verzeichnen. Allerdings trat beim Follow-up eine Verschlechterung (Erhöhung des SI) auf, die in Gruppe I ausgeprägter war und auf einen Korrekturverlust insbesondere bei diesen Patienten hinweist (siehe Abbildung 4).

Ein ähnliches Muster von Verbesserungen nach den chirurgischen Eingriffen, gefolgt von einem anschließenden Korrekturverlust beim Follow-up, wurde auch für die Wirbelhöhenminderung (LVH) beobachtet. Dieser nahm zunächst nach jedem Eingriff zu und verringerte sich anschließend beim Follow-up in beiden Gruppen (siehe Abbildung 5).

Abbildung 4. Der sagittale Index (SI) der beiden Gruppen zu verschiedenen Zeitpunkten: Zeit 0 entspricht der Ausgangsbewertung bei Polytrauma-Vorstellung, Zeit 1 erfolgt nach der dorsalen Stabilisierung, Zeit 2 nach der zusätzlichen anterioren Wirbelkörperersatz (in der Gruppe mit kombiniertem Ansatz), und Zeit 3 steht für das Follow-up (mindestens 12 Monate nach der Behandlung).

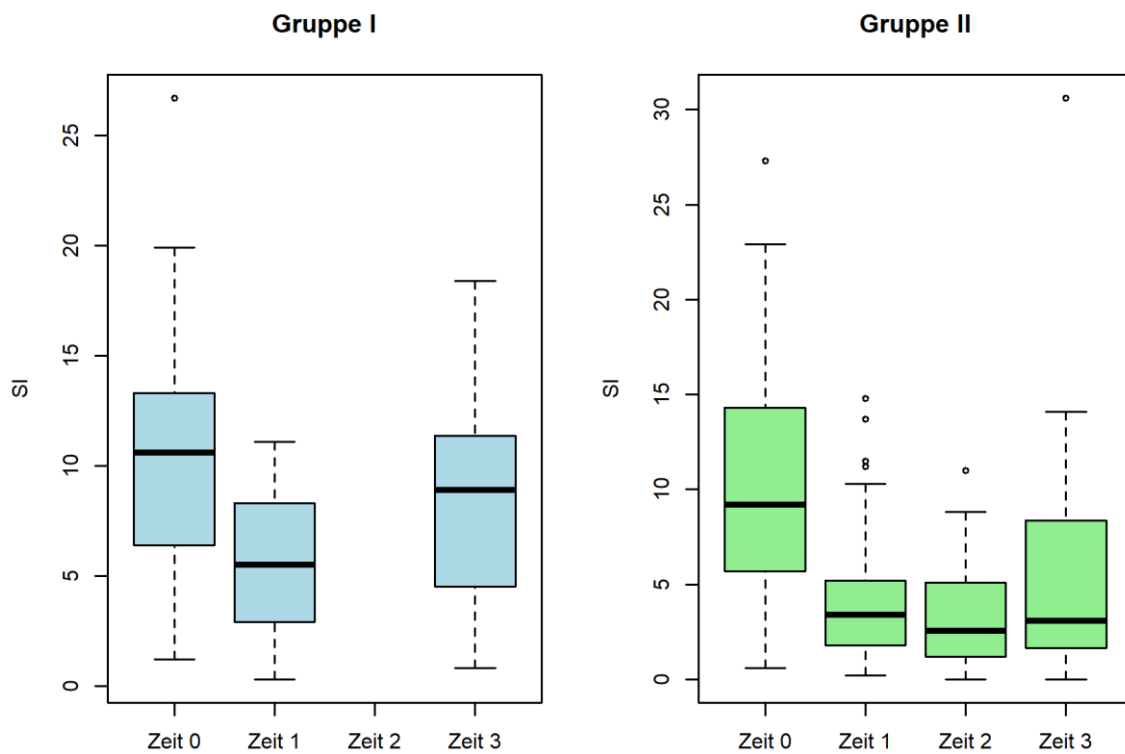
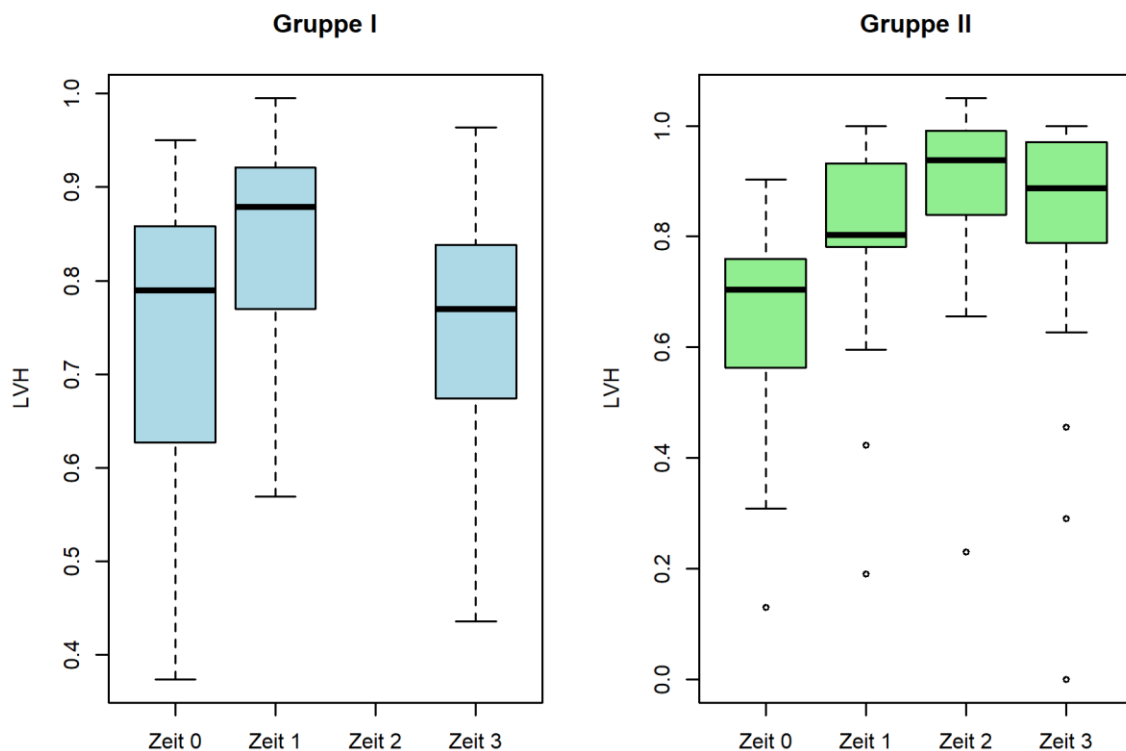


Abbildung 5. Der Verlust der Wirbelhöhe (LVH) in den beiden Gruppen zu verschiedenen Zeitpunkten: Zeit 0 entspricht der Ausgangsbewertung bei Polytrauma-Vorstellung, Zeit 1 erfolgt nach der dorsalen Stabilisierung, Zeit 2 nach der zusätzlichen anterioren Wirbelkörperersatz (in der Gruppe mit kombiniertem Ansatz), und Zeit 3 steht für das Follow-up (mindestens 12 Monate nach der Behandlung).



Der Vergleich der Ergebnisse (SI und LVH) mittels des gemischten Effektregressionsmodells (siehe Tabelle 2) zeigte statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. Gruppe II wies beim Follow-up im Vergleich zu Gruppe I eine leichte Verbesserung beider Indizes auf, was auf eine bessere sagittale Ausrichtung sowie auf eine effektivere und signifikant dauerhaftere Wiederherstellung der Wirbelhöhe durch den kombinierten Ansatz hinweist.

Tabelle 2. Bildmorphologische Outcomes (SI und LVH) bei der Nachuntersuchung durch gemischte Regressionsanalyse mit Anpassung an die Basiswerte von SI und LVH zwischen den beiden Gruppen.

Outcome	Adjustierte Mittelwertdifferenz (Gruppe II – Gruppe I)*	95% CI	P-Wert
SI	-4.24 [§]	-7.13 to -1.36	0.004
LVH	0.11 [§]	0.02 to 0.20	0.020

*: Der Mittelwertdifferenz (SI in Gruppe II minus SI in Gruppe I) beim Follow-up wurde durch ein gemischtes Regressionsmodell berechnet, das alle Ergebniswerte zu verschiedenen Zeitpunkten einbezieht (siehe Anhang für detaillierte Statistik) und an die Basiswerte angepasst ist.
 §: Ein negativer SI-Unterschied zeigt an, dass Gruppe II eine geringere Fehlstellung aufweist, da der optimale SI-Wert null sein sollte. Im Gegensatz dazu ist der LVH positiv, was darauf hinweist, dass Gruppe II eine bessere Wirbelhöhe hat, da der optimale LVH-Wert eins beträgt (d.h. kein Verlust der Wirbelhöhe).

4.4 Klinische Outcomes

4.4.1 Schmerzen nach VAS

Der Schmerz zeigt eine deutliche Besserung nach der dorsalen Stabilisierung in beiden Gruppen (siehe Abbildung 6). Nach dem Wirbelkörperersatz kam es in Gruppe II zunächst zu einem leichten Anstieg des Schmerzes, der sich jedoch im Verlauf beim Follow-up verbesserte und wie in Gruppe I unter dem ursprünglichen Niveau blieb (siehe Tabelle 3). Der Vergleich der Ergebnisse mittels eines gemischten Effektregressionsmodells, das auf die Ausgangswerte bei der Polytrauma-Vorstellung angepasst wurde, zeigte statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen beim Follow-up (Mittelwertdifferenz (Gruppe II – Gruppe I) = -1,55, 95% Konfidenzintervall von -3,05 bis -0,05, p-Wert = 0,047). Dies deutet darauf hin, dass Patienten in Gruppe II weniger Schmerz empfinden.

Abbildung 6. Der Schmerz nach VAS in den beiden Gruppen zu verschiedenen Zeitpunkten: Zeit 0 entspricht der Ausgangsbewertung bei Polytrauma-Vorstellung, Zeit 1 erfolgt nach der dorsalen Stabilisierung, Zeit 2 nach der zusätzlichen anterioren Wirbelkörperersatz (in der Gruppe mit kombiniertem Ansatz), und Zeit 3 steht für das Follow-up (mindestens 12 Monate nach der Behandlung).

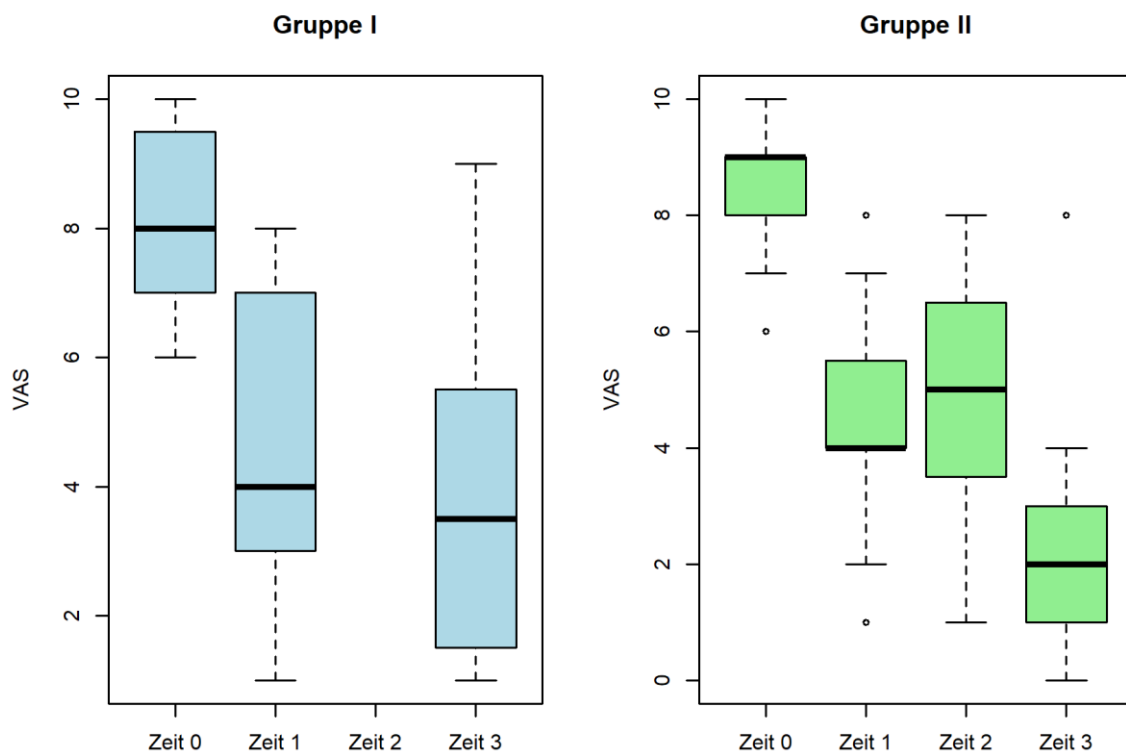


Tabelle 3. Schmerz nach VAS der beiden Gruppen zu verschiedenen Zeitpunkten

Zeit	Schmerz nach VAS in M \pm SD	
	Gruppe I	Gruppe II
Bei Polytrauma-Vorstellung	8,33 \pm 1,35	8,43 \pm 1,12
Nach dorsaler Stabilisierung	4,65 \pm 2,34	4,58 \pm 1,69
Nach Wirbelkörperersatz	n.a	5,04 \pm 2,13
Bei Follow-up	3,75 \pm 2,53	2,20 \pm 1,79

4.4.2 Neurologischer Status

Bei der Vorstellung im Schockraum wiesen 6 Patienten (19%) in Gruppe I neurologische Defizite auf, während in Gruppe II 22 Patienten (48%) betroffen waren. Am Ende des Follow-ups verschlechterte sich der neurologische Zustand nur bei einem Patienten in Gruppe I, der bei der Vorstellung keine neurologischen Defizite hatte, jedoch im Verlauf welche entwickelte. Zwei Patienten in Gruppe I blieben stabil, ohne Änderung ihrer neurologischen Defizite, und drei Patienten zeigten eine Verbesserung im Vergleich zum Ausgangszustand.

In Gruppe II verschlechterte sich hingegen kein Patient; 7 Patienten blieben unverändert, während 15 Patienten am Ende des Follow-ups eine Verbesserung ihres neurologischen Status zeigten.

Der Vergleich der Ergebnisse mittels eines proportional odds Modells ergab ein Proportional Odds Ratio (POR) von 5,12 mit einem 95% CI von 1,51 bis 23,77 und einem p-Wert von 0,022. Dies deutet auf einen statistisch signifikanten Unterschied

zwischen den beiden Gruppen hin, mit einer Tendenz zu einem besseren neurologischen Status bei den Patienten in Gruppe II am Follow-up.

4.4.3 Postoperative Komplikationen

Postoperative Komplikationen traten in beiden Gruppen bei jeweils 7 Patienten auf, wobei sie in Gruppe I häufiger vorkamen, allerdings ohne statistisch signifikanten Unterschied (23 % vs. 15 %, p-Wert = 0,548). Eine detaillierte Übersicht der postoperativen Komplikationen ist in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4. Detaillierte Auflistung der postoperativen Komplikationen in den beiden Gruppen

Group I	Wirbel	Group II	Wirbel
Revision wegen Lockerung einer Blockerschraube	BW11	Pleuraerguss durch Liquorthorax/Fistel	LW1
Postoperative Pneumonie	BW12	Revision wegen Implantats-Versagen	LW1
Postoperative Pneumonie	BW12	Postoperative Pneumonie	LW1
Periphere Lungenembolie rechts	BW12	Postoperative Sepsis	BW9
Wundheilungsstörung	LW5	Chronisches	BW12
Revision aufgrund Höhenminderung mit Pedikelschraubenverlagerung	LW2	Schmerzsyndrom	
		Revision wegen Implantats-Versagen	LW4
Thrombophlebitis	LW1	Postoperative Pneumoniae	LW3

5 Diskussion

Diese Studie aus einem überregionalen Traumazentrum in Berlin Friedrichshain beschreibt die Eigenschaften und Ergebnisse von 77 Patienten mit Wirbelsäulenfrakturen nach einem Polytrauma die über einen Zeitraum von etwa neun Jahren dort behandelt wurden. Sie vergleicht zudem die bildmorphologischen und

klinischen Ergebnisse zwischen zwei operativen Behandlungsansätzen: der alleinigen dorsalen Stabilisierung und einem kombinierten Ansatz (dorsale Stabilisierung + Wirbelkörperersatz).

Eingeschlossen wurden Patienten mit Frakturen der Brust- oder Lendenwirbelsäule, die im Rahmen eines Polytraumas im KFH behandelt wurden. Patienten mit osteoporotischen oder pathologischen Frakturen wurden ausgeschlossen. Der häufigste Verletzungsmechanismus war ein selbst verursachter Sturz aus großer Höhe, meist ein Sprung aus einem Fenster. Dies erklärt den hohen Anteil an Kompressionsfrakturen (A3 und A4 nach AO-Klassifikation) bei den eingeschlossenen Patienten, da der „First-feet-landing“-Mechanismus zu diesen Frakturen führt (Kim 2014; Kano 2019; Richter 1996; Isbister 1992).

Dieser Mechanismus erklärt auch das häufigere Auftreten von Begleitverletzungen an benachbarten Wirbeln, den unteren Extremitäten, den Füßen sowie am Becken (Richter 1996; Isbister 1992). Die Begleitverletzungen könnten wiederum den niedrigen Hämoglobinwert (Hb) bei der Aufnahme erklären, der in unserer Kohorte im unteren Normbereich lag (Leucht 2009).

Die chirurgische Behandlung schwerer Wirbelsäulenfrakturen verfolgt drei zentrale Ziele: die Dekompression des Nervengewebes, die Stabilisierung der Wirbelsäule und die Korrektur von Deformitäten. In dieser Kohorte erhielten alle Patienten eine dorsale Stabilisierung mit Pedikelschrauben, während in Gruppe II zusätzlich eine ventrale Stabilisierung durch Wirbelkörperersatz durchgeführt wurde.

Im Jahr 1959 berichtete Boucher HH erstmals über den bahnbrechenden Einsatz von Pedikelschrauben zur Behandlung von Wirbelsäulenfrakturen. Diese Technik

markierte den Beginn eines Behandlungsansatzes, der sich seither sowohl in der Technik als auch in den verwendeten Materialien weiterentwickelt hat (Boucher 1959; Aly 2017). Der Ersatz eines Wirbelkörpers durch Fremdmaterial zur Behandlung von Wirbelfrakturen wurde erstmals 1967 von Scoville und anderen beschrieben und hat sich seither ebenfalls weiterentwickelt (Tarhab 2015). Die optimale Vorgehensweise zur Behandlung schwerer Wirbelsäulenfrakturen bleibt jedoch ein kontroverses Thema unter Wirbelsäulenchirurgen (Aly 2017; Machino 2011).

Unsere Studie, die die alleinige dorsale Stabilisierung mit dem kombinierten Ansatz (dorsale Stabilisierung + Wirbelkörperersatz) verglich, zeigte signifikante Unterschiede sowohl bei den bildmorphologischen Ergebnissen, insbesondere im Hinblick auf den sagittalen Index und den Verlust der Wirbelkörperhöhe, als auch bei den klinischen Outcomes wie dem neurologischen Status und den Schmerzen. Interessanterweise gab es jedoch keinen statistisch signifikanten Unterschied bei den postoperativen Komplikationen im Verlauf des Follow-ups.

Singh et al. schlugen zuvor vor, dass die Hinzufügung einer ventralen Rekonstruktion zur dorsalen Stabilisierung die Korrektur des sagittalen Alignments und den Verlust der Wirbelkörperhöhe verbessern könnte (Singh 2020). Ihre Studie konzentrierte sich jedoch auf eine kleine Patientengruppe (n = 4), was die Generalisierbarkeit einschränkt. Eine weitere Fallserie, wenn auch ohne Kontrollgruppe, berichtete ebenfalls von positiven Ergebnissen für die kombinierte dorsale/ventrale Operation (Machino 2011). Zudem zeigte eine frühere Kontrollstudie ähnliche Ergebnisse hinsichtlich der bildmorphologischen Outcomes, während die klinischen Outcomes nicht analysiert wurden (Mulhem 2024). Unsere aktuelle Analyse, die eine Kontrollgruppe sowie eine vergleichsweise große Kohorte (n = 46 im kombinierten

Ansatz und n = 31 im alleinigen dorsalen Ansatz) umfasst, untermauert diese früheren Erkenntnisse sowohl statistisch als auch methodisch.

Im Gegensatz dazu kam eine randomisierte kontrollierte Studie (RCT), die den kombinierten Ansatz mit der alleinigen dorsalen Stabilisierung bei 40 Patienten verglich, zu dem Ergebnis, dass es keinen Unterschied in der bildmorphologischen Korrektur von Deformitäten und den klinischen Outcomes gab (Korovessis 2006). Obwohl es sich um eine RCT handelt, sind zwei Kritikpunkte zu erwähnen: Erstens schlossen die Autoren nur Patienten mit Frakturen von L2, L3 oder L4 ein, was die Generalisierbarkeit ihrer Ergebnisse auf andere Wirbelsäulenregionen einschränkt. Zweitens verglichen sie statistisch die bildmorphologischen Ergebnisse nur zwischen den präoperativen und postoperativen Messungen innerhalb derselben Gruppe, jedoch nicht zwischen den Gruppen. Bei der abschließenden Beobachtung von 46 bzw. 48 Monaten in dieser RCT zeigte die kombinierte Gruppe eine bessere sagittale Deformitätskorrektur (Korovessis 2006), was mit unseren Ergebnissen zum letzten Follow-up übereinstimmt.

In einer aktuellen systematischen Übersichtsarbeit, die die beiden Gruppen verglich, fanden die Autoren keinen statistisch signifikanten Unterschied in den radiologischen Ergebnissen. Es wurden jedoch nur Patienten mit Frakturen im Übergang zwischen Brust- und Lendenwirbelsäule einbezogen, und zur Beurteilung der Deformität wurde lediglich der Cobb-Winkel gemessen (Tan 2020). Unsere aktuelle Arbeit ist die erste Studie, die den sagittalen Index (SI) und den Loss of Vertebral Height (LVH) bei traumatischen thorakalen oder lumbalen Frakturen zwischen diesen beiden Patientengruppen vergleicht, und dies mit einer langfristigen Nachbeobachtung von durchschnittlich 16 Monaten in Gruppe I und 19 Monaten in Gruppe II kombiniert.

Unsere Ergebnisse, die mit biomechanischen Prinzipien übereinstimmen, zeigen, dass die Verbesserung der sagittalen Ausrichtung und der Wirbelhöhe im frühen postoperative Zeitraum in beiden Gruppen vergleichbar war, als die Patienten weniger mobil waren. Nach der Entlassung und einer Nachbeobachtungszeit von mindestens 12 Monaten wurde jedoch ein Rückgang der radiologischen Ergebnisse festgestellt, insbesondere in der Gruppe mit alleinstehender dorsaler Stabilisierung. Dies deutet darauf hin, dass erhöhte Belastungskräfte nach der Operation die Stabilität der am stärksten geschädigten Frakturregion beeinträchtigten. Der kombinierte Ansatz wies hingegen überlegene Ergebnisse auf, da er die Tragfähigkeit der Wirbelsäule erhöhte. Diese bessere Korrektur spiegelt sich auch in den klinischen Ergebnissen wider. Schmerzen und neurologischem Funktionsstatus waren bei der Behandlung der Fraktur sowohl von dorsal als auch von ventral zum Zeitpunkt des letzten follow-ups überlegen. Dies stimmt mit den Daten von Reinhold und Kollegen überein, die die operative Behandlung von 733 Patienten mit thorakolumbalen Frakturen beschrieben und analysiert haben (Reinhold 2010). Ihre Studie zeigte, dass posttraumatische Deformitäten mit dem kombinierten Ansatz besser korrigiert werden konnten, insbesondere die kyphotische Fehlstellung. Diese Erkenntnis deckt sich mit unseren Ergebnissen. Auch hinsichtlich der neurologischen Defizite fanden Reinhold et al., dass die neurologische Verbesserung in der Gruppe mit alleiniger dorsaler Stabilisierung 59 % betrug, verglichen mit 61 % in der kombinierten Gruppe – ein Trend, der ebenfalls in unserer Studie beobachtet wurde. In Übereinstimmung mit den biomechanischen Eigenschaften der thorakolumbalen Wirbelsäule empfehlen wir daher, auf Basis der eigenen und der in der Literatur veröffentlichten Ergebnisse, bei schweren Wirbelsäulenfrakturen (A3 und A4 Frakturen) in der thorakalen oder

lumbalen Region alle drei Säulen zu rekonstruieren, also ein dorso-ventrales Vorgehen mit Wirbelkörperersatz zu wählen (Hafer 1989).

Unsere Studie weist mehrere Limitationen auf, die berücksichtigt werden sollten. Erstens begrenzt das retrospektive Design die Kontrolle über die Datenerhebung und führt zu möglichen Verzerrungen in Bezug auf die Patientenauswahl und fehlende Daten. Obwohl ein Selektionsbias in dieser retrospektiven Studie nicht vollständig ausgeschlossen werden kann, was sich in der Ungleichverteilung der initialen neurologischen Defizite zwischen den Gruppen zeigt – mit einem höheren Anteil von Patienten mit neurologischen Defiziten in Gruppe II (48 %) im Vergleich zu Gruppe I (19 %) – ist es dennoch unwahrscheinlich, dass dieser Bias die endgültigen klinischen Ergebnisse signifikant beeinflusst hat. Trotz der initialen Unterschiede zeigte sich in Gruppe II ein konsistenter Trend zur besseren klinischen Verbesserung, was die Robustheit unserer Ergebnisse unterstützt. Des Weiteren wurde die Studie in einem einzigen Traumazentrum durchgeführt, was die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Institutionen oder Populationen einschränken könnte. Die Stichprobengröße ist, obwohl größer als in vorherigen Studien, noch immer begrenzt. Dies trifft insbesondere bei der Segmentierung nach Behandlungsgruppen zu, was die statistische Aussagekraft für die einzelnen Subgruppenanalysen weiter limitieren kann. Eine weitere Limitation betrifft die Nachbeobachtungszeit. Obwohl ein mittlerer Follow-up von über 12 Monaten erreicht wurde, könnte eine längere Beobachtungszeit tiefere Einblicke in die Entwicklung bildmorphologischer Ergebnisse und die potenzielle Entwicklung späterer Komplikationen bieten. Allerdings ist damit zu rechnen, dass nach dieser Zeit die knöchernen Konsolidierungen weitgehend abgeschlossen sind und es so eher zu keinem weiteren Korrekturverlust kommen sollte. Schließlich wurden, obwohl sowohl bildmorphologische als auch klinische Ergebnisse einbezogen wurden,

einige relevante Parameter wie detaillierte funktionelle Ergebnisse und Lebensqualitätsbewertungen nicht berücksichtigt, die eine umfassendere Betrachtung der Patientenwiederherstellung ermöglicht hätten.

Trotz dieser Limitationen weist unsere Studie mehrere Stärken auf. Durch die Einbeziehung einer vergleichsweise großen Kohorte und den Einsatz eines gemischten Effektregressionsmodells konnten wir die Unterschiede in radiologischen und klinischen Ergebnissen zwischen den beiden Behandlungsgruppen statistisch validieren und somit die Robustheit unserer Ergebnisse stärken (Rosato 2021; Huque 2018). Zudem bietet die Nutzung des sagittalen Indexes (SI) und des Verlustes an Wirbelhöhe (LVH) als spezifische bildmorphologische Messgrößen eine differenzierte Bewertung der spinalen Ausrichtung und der Integrität des Wirbelkörpers über den herkömmlichen Cobb-Winkel hinaus und ermöglicht eine präzisere Darstellung der spinalen Struktur nach der Behandlung (Farcy 1990). Darüber hinaus gehört unsere Studie zu den wenigen, die eine systematische Gegenüberstellung der alleinstehenden dorsalen Stabilisierung und des kombinierten dorsalen-ventralen Ansatzes vornehmen und damit wertvolle Daten in einem Bereich mit begrenzten hochwertigen Studien liefern. Durch den Fokus auf eine Population in einem Traumazentrum und die Einbeziehung von Patienten mit schweren thorakolumbalen Frakturen, wie sie typischerweise bei Polytraumafällen auftreten, sind unsere Ergebnisse besonders relevant für das Management komplexer Wirbelsäulenverletzungen in hochakuten Settings.

6 Schlussfolgerungen

Diese retrospektive Studie aus einem überregionalen Traumazentrum liefert zusätzliche Erkenntnisse zum Vergleich der Behandlungsergebnisse zwischen der

alleinigen dorsalen Stabilisierung und dem kombinierten Ansatz aus dorsaler Stabilisierung und ventralem Wirbelkörperersatz. Untersucht wurden Patienten mit schweren thorakalen und lumbalen Wirbelsäulenfrakturen im Rahmen eines Polytraumas. In unseren Ergebnissen konnten wir zeigen, dass der kombinierte Ansatz eine signifikant bessere und stabilere Korrektur der sagittalen Ausrichtung und der Wirbelhöhe im Vergleich zur alleinigen dorsalen Stabilisierung erreichte. Langfristig wirkte sich dies positiv auf die klinischen Ergebnisse, insbesondere auf Schmerzreduktion und neurologische Erholung aus.

Darüber hinaus unterstreicht die Studie die Bedeutung der umfassenden Rekonstruktion der Wirbelsäulenstabilität durch den Ersatz geschädigter Wirbelkörper, insbesondere bei komplexen Frakturen und schweren Verletzungen. Dies wird durch die Beobachtung gestützt, dass in der Gruppe mit kombiniertem Ansatz eine deutlich geringere Korrekturverlust im Nachbeobachtungszeitraum zu verzeichnen war, was auf eine langfristig höhere Belastbarkeit und Stabilität der Wirbelsäule und letztendlich weniger Anschlussprobleme hindeutet. Diese Ergebnisse betonen den Vorteil des kombinierten Verfahrens für die Behandlung von Patienten mit Polytrauma und thorakolumbalen Wirbelfrakturen.

Insgesamt sprechen unsere Erkenntnisse für den kombinierten Ansatz, insbesondere bei jüngeren und aktiveren Patienten, die eine langanhaltende Stabilität und bessere funktionelle Ergebnisse benötigen. Unsere Ergebnisse tragen dazu bei, das Verständnis und die Evidenzbasis für die optimale chirurgische Behandlung schwerer Wirbelsäulenverletzungen weiter auszubauen und unterstützen die Empfehlung einer individuellen, an der Frakturkomplexität und dem Patientenprofil orientierten Therapieentscheidung. Zukünftige prospektive Studien sind jedoch erforderlich, um

die Langzeitvorteile weiter zu validieren und den Nutzen des kombinierten Ansatzes in verschiedenen klinischen Kontexten zu untersuchen.

7 Zusammenfassung

Ziel:

Der optimale Ansatz für die chirurgische Behandlung schwerer traumatischer Wirbelsäulenfrakturen bei Patienten mit Polytrauma ist umstritten. Diese Studie vergleicht die alleinige dorsale Stabilisierung (Gruppe I) mit dem kombinierten dorsoventralen Ansatz (dorsale Stabilisierung + Wirbelkörperersatz Gruppe II). Analysiert wurden bildmorphologische Ergebnisse, einschließlich des sagittalen Index (SI) und des Loss of Vertebral Height (LVH), sowie klinischer Ergebnisse wie Schmerzen, neurologischer Status und postoperativen Komplikationen.

Methoden:

In dieser retrospektiven, monozentrischen Studie wurden alle Patienten mit Polytrauma und diagnostizierten Wirbelsäulenfrakturen (BW1 bis LW5), die sich zwischen dem 1. Januar 2015 und dem 30. September 2024 einer chirurgischen Stabilisierung unterzogen, einbezogen. Die Patientenakten und die Bildgebungen wurden analysiert, wobei Sagittal Index (SI), Loss of Vertebral Height (LVH), Schmerz gemäß Visuelle Analog Skala (VAS) und neurologischer Status zu Studienbeginn, nach jedem chirurgischen Eingriff und beim Follow-up erfasst wurden. Lineare gemischte Regressionsmodelle, angepasst an die Ausgangswerte, verglichen SI, LVH und Schmerzen, während ein Proportional Odds Ratio-Modell für den Vergleich des neurologischen Status zwischen den beiden Gruppen verwendet wurde.

Ergebnisse:

Insgesamt wurden 77 Patienten (47 Männer) eingeschlossen, davon 31 in Gruppe I

und 46 in Gruppe II. Die demografischen Merkmale wie Alter, Geschlecht, Verletzungsursache, initiales Hämoglobin und Begleitverletzungen waren zwischen den Gruppen vergleichbar. Das mediane Follow-up betrug 16 Monaten in Gruppe I und 19 Monaten in Gruppe II. Die meisten Frakturen lagen im thorakolumbalen Übergangsbereich (BW12 und LW1), und laut AO-Klassifikation handelte es sich größtenteils um Kompressionsfrakturen (A3 oder 4, mit 12 und 10 in Gruppe I sowie 11 und 28 in Gruppe II). Das Regressionsmodell zeigte eine überlegene sagittale Ausrichtung in Gruppe II mit einer mittleren Differenz für den SI von -4,24 (95 % CI -7,13 bis -1,36; p-Wert = 0,004) und eine verbesserte Wiederherstellung der Wirbelkörperhöhe mit einer mittleren Differenz für LVH von 0,11 im kombinierten Ansatz (95 % CI 0,02 bis 0,20; p-Wert = 0,02). In Bezug auf die Schmerzreduktion beim Follow-up zeigte der kombinierte Ansatz bessere Ergebnisse mit einer mittleren Differenz von -1,55 (95 % CI -3,05 bis -0,05; p-Wert = 0,047). Das Proportional-Odds-Modell bezüglich des neurologischen Status zeigte in der kombinierten Gruppe bessere Ergebnisse mit einem Proportional-Odds-Ratio (POR) von 5,12 (95 % CI 1,51 bis 23,77; p-Wert = 0,022). Postoperative Komplikationen traten in beiden Gruppen bei jeweils sieben Patienten auf.

Schlussfolgerung:

Die kombinierte dorsoventrale Stabilisierung bei Wirbelsäulenfrakturen verbessert die Stellung der Wirbelsäule durch eine bessere sagittale Ausrichtung und eine erhöhte Wirbelkörperhöhe. Dies traf insbesondere auf das letzte follow-up zu, da nach initialer Versorgung ein deutlich geringerer Korrekturverlust auftrat. Damit gingen im Vergleich zur alleinigen dorsalen Stabilisierung bessere klinische Ergebnisse einher, einschließlich Schmerzlinderung und neurologischem Status. Bezüglich

Komplikationen gab es zwischen den beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede.

8 Literaturverzeichnis

Aly, T.A. (2017) "Short segment versus long segment pedicle screws fixation in management of thoracolumbar burst fractures: Meta-analysis," *Asian spine journal*, 11(1), pp. 150–160. Available at: <https://doi.org/10.4184/asj.2017.11.1.150>.

Aschenbrenner, I. and Biberthaler, P. (2012) *Polytrauma*, *Dgu-online.de*. Available at: <https://alt.dgu-online.de/patienten/haeufige-diagnosen/schwerverletzte/polytrauma.html> (Accessed: January 11, 2023).

Boucher, H.H. (1959) "A method of spinal fusion," *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 41-B(2), pp. 248–259. Available at: <https://doi.org/10.1302/0301-620X.41B2.248>.

Farcy, J.P., Weidenbaum, M. and Glassman, S.D. (1990) "Sagittal index in management of thoracolumbar burst fractures," *Spine*, 15(9), pp. 958–965. Available at: <https://doi.org/10.1097/00007632-199009000-00022>.

Haher, T.R. *et al.* (1989) "The contribution of the three columns of the spine to spinal stability: a biomechanical model," *Paraplegia*, 27(6), pp. 432–439. Available at: <https://doi.org/10.1038/sc.1989.69>.

Hu, R., Mustard, C.A. and Burns, C. (1996) "Epidemiology of incident spinal fracture in a complete population," *Spine*, 21(4), pp. 492–499. Available at: <https://doi.org/10.1097/00007632-199602150-00016>.

Huque, M.H. *et al.* (2018) "A comparison of multiple imputation methods for missing data in longitudinal studies," *BMC medical research methodology*, 18(1), p. 168. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0615-6>.

Isbister, E.S. and Roberts, J.A. (1992) "Autokabalesis: a study of intentional vertical deceleration injuries," *Injury*, 23(2), pp. 119–122. Available at: [https://doi.org/10.1016/0020-1383\(92\)90046-u](https://doi.org/10.1016/0020-1383(92)90046-u).

Jäckle, K. *et al.* (2024) "Clinical outcome after dorso-ventral stabilization of the thoracolumbar and lumbar spine with vertebral body replacement and dorsal stabilization," *European spine journal: official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00586-024-08324-4>.

Jowett, G.H. and Fisher, R.A. (1956) "Statistical methods for research workers," *Journal of the Royal Statistical Society. Series C, Applied statistics*, 5(1), p. 68. Available at: <https://doi.org/10.2307/2985747>.

Kano, H. *et al.* (2019) "Spinal injuries in suicidal jumpers," *Spine*, 44(1), pp. E13–E18. Available at: <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000002757>.

Katsuura, Y., Osborn, J.M. and Cason, G.W. (2016) "The epidemiology of thoracolumbar trauma: A meta-analysis," *Journal of orthopaedics*, 13(4), pp. 383–388. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jor.2016.06.019>.

Keene, J.S. (1984) "Radiographic evaluation of thoracolumbar fractures," *Clinical orthopaedics and related research*, 189(189), pp. 58–64. Available at: <https://doi.org/10.1097/00003086-198410000-00007>.

Kim, D.Y. *et al.* (2014) "Burst fractures as a result of attempted suicide by jumping," *Korean journal of neurotrauma*, 10(2), pp. 70–75. Available at: <https://doi.org/10.13004/kjnt.2014.10.2.70>.

Korovessis, P. *et al.* (2006) "Combined anterior plus posterior stabilization versus posterior short-segment instrumentation and fusion for mid-lumbar (L2-L4) burst fractures," *Spine*, 31(8), pp. 859–868. Available at: <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000209251.65417.16>.

Lapin, B. *et al.* (2018) "Patient experience with patient-reported outcome measures in neurologic practice," *Neurology*, 91(12), pp. e1135–e1151. Available at: <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000006198>.

Leucht, P. *et al.* (2009) "Epidemiology of traumatic spine fractures," *Injury*, 40(2), pp. 166–172. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.injury.2008.06.040>.

Machino, M. *et al.* (2011) "Posterior/anterior combined surgery for thoracolumbar burst fractures--posterior instrumentation with pedicle screws and laminar hooks, anterior decompression and strut grafting," *Spinal cord*, 49(4), pp. 573–579. Available at: <https://doi.org/10.1038/sc.2010.159>.

Mulhem, A. (2021) "16. Deutscher Wirbelsäulenkongress Jahrestagung der Deutschen Wirbelsäulengesellschaft 9," *European Spine Journal*, pp. 3370–3371.

Mulhem, A. *et al.* (2024) "Radiologic outcomes after operative management of traumatic spine fractures: Stand-alone posterior stabilization versus combined anteroposterior approach," *Journal of neurological surgery. Part A, Central European neurosurgery* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1055/a-2331-2466>.

Nishikawa-Pacher, A. (2022) "Research questions with PICO: A universal mnemonic," *Publications*, 10(3), p. 21. Available at: <https://doi.org/10.3390/publications10030021>.

Reinhold, M. *et al.* (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," *European spine journal: official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 19(10), pp. 1657–1676. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00586-010-1451-5>.

Richter, D. *et al.* (1996) "Vertical deceleration injuries: a comparative study of the injury patterns of 101 patients after accidental and intentional high falls," *Injury*, 27(9), pp. 655–659. Available at: [https://doi.org/10.1016/s0020-1383\(96\)00083-6](https://doi.org/10.1016/s0020-1383(96)00083-6).

Roberts, T.T., Leonard, G.R. and Cepela, D.J. (2017) "Classifications in brief: American spinal injury association (ASIA) impairment scale," *Clinical orthopaedics and related research*, 475(5), pp. 1499–1504. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11999-016-5133-4>.

Rosato, R. *et al.* (2021) "Missing data in longitudinal studies: Comparison of multiple imputation methods in a real clinical setting," *Journal of evaluation in clinical practice*, 27(1), pp. 34–41. Available at: <https://doi.org/10.1111/jep.13376>.

Rupp, M. *et al.* (2021) "The incidence of fractures among the adult population of Germany—an analysis from 2009 through 2019," *Deutsches Arzteblatt international*, 118(40), pp. 665–669. Available at: <https://doi.org/10.3238/arztebl.m2021.0238>.

Schinkel, C. *et al.* (2007) "Wirbelsäulenfrakturen bei Mehrfachverletzten: Eine Analyse des DGU-Traumaregisters," *Der Unfallchirurg*, 110(11), pp. 946–952. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00113-007-1351-2>.

Schnake, K.J. *et al.* (2017) "AOSpine classification systems (subaxial, thoracolumbar)," *Journal of orthopaedic trauma*, 31 Suppl 4, pp. S14–S23. Available at: <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000000947>.

Schober, P. and Vetter, T.R. (2021) "Linear mixed-effects models in medical research," *Anesthesia and analgesia*, 132(6), pp. 1592–1593. Available at: <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000000541>.

Singh, A. *et al.* (2020) "Short segment versus long segment posterior pedicle screws fixation for treatment of thoracolumbar burst fracture: A comparative prospective study," *Asian journal of medical research*, 9(2), pp. 1–6. Available at: <https://doi.org/10.47009/ajmr.2020.9.2.or1>.

Singh, R. *et al.* (2015) "A prospective study of neurological outcome in relation to findings of imaging modalities in acute spinal cord injury," *Asian journal of neurosurgery*, 10(3), pp. 181–189. Available at: <https://doi.org/10.4103/1793-5482.161166>.

Tan, T. *et al.* (2020) "Does combined anterior-posterior approach improve outcomes compared with posterioronly approach in traumatic thoracolumbar burst fractures?: A systematic review," *Asian spine journal*, 14(3), pp. 388–398. Available at: <https://doi.org/10.31616/asj.2019.0203>.

Tarhan, T. *et al.* (2015) "Geschichte des Wirbelkörperersatzes," *Der Unfallchirurg*, 118 Suppl 1(S1), pp. 73–79. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00113-015-0084-x>.

Whitney, E. and Alastra, A.J. (2022) *Vertebral Fracture*. StatPearls Publishing.

Whitney, E. and Alastra, A.J. (2024) "Vertebral fracture," in *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.

World Health Organization (2015) *The international statistical classification of diseases and related health problems, ICD-10*. 10th ed. Genève, Switzerland: World Health Organization.

Yüksel, M.O. *et al.* (2016) "The association between sagittal index, canal compromise, loss of vertebral body height, and severity of spinal cord injury in thoracolumbar burst fractures," *Journal of neurosciences in rural practice*, 7(Suppl 1), pp. S57–S61. Available at: <https://doi.org/10.4103/0976-3147.196466>.

9 Anhang

9.1 Liste der Datenvariablen mit Beschreibung, Kodierung und Einheiten

Variabale	Beschreibung	Kodierung	Einheit
Alter	Alter des Patienten/der Patientin	Numerisch	Jahr
Geschlecht	Geschlecht des Patienten/der Patientin	Weiblich= 1 Männlich= 0	-
Datum	Datum des Polytraumas	tt.mm.jj	-
Klassifikation	Klassifikation der Fraktur	Nominal	-
Fraktur	Name des frakturierten Wirbels	Nominal	-
Hb	Initiales Hämoglobin bei Aufnahme	Numerisch	g/dl
Genese	Traumamechanismus	1= Selbstmordversuch 2= Fallen 3= Verkehrsunfall 4= Andere	-
Kopf	Vorhandensein einer Verletzung	1= Ja 0= Nein	-
Schultergürtel	Vorhandensein einer Verletzung	1= Ja 0= Nein	-
Thorax	Vorhandensein einer Verletzung	1= Ja 0= Nein	-
Abdomen	Vorhandensein einer Verletzung	1= Ja 0= Nein	-
Becken	Vorhandensein einer Verletzung	1= Ja 0= Nein	-
Obere_Extremitäten	Vorhandensein einer Verletzung	1= Ja 0= Nein	-
Untere_Extremitäten	Vorhandensein einer Verletzung	1= Ja 0= Nein	-
Wirbelsäule	Vorhandensein einer Verletzung	1= Ja 0= Nein	-
Dorsal	dorsale Operation des frakturierten Wirbels	1= Ja 0= Nein	-
Zeit1	Zeit der dorsalen Operation vom Schnitt bis Nahtende	Numerisch	Min.
Ventral	ventrale Operation des frakturierten Wirbels	1= Ja 0= Nein	-
Zeit2	Zeit der ventralen Operation vom Schnitt bis Nahtende	Numerisch	Min.
Defizite	Vorhandensein initialer neurologischer Defizite	1= Ja 0= Nein	-
Follow_up	Zeit bis die Vorstellung zur Nachbehandlung	Numerisch	Monate
Outcome	Verlauf der initialen neurologischen Defizite bei Follow-up	3 = Besser 2 = Gleich	-

		1 = Schlechter	
Letalität	Letalität bei Follow-up	1= Ja 0= Nein	-
Komplikation	Ausführliche Bezeichnung der Komplikationen	-	-
SI_0	Sagittal Index bei Vorstellung	Nummerisch	
SI_1	Sagittal Index nach dorsaler Stabilisierung	Nummerisch	
SI_2	Sagittal Index nach kombiniertem Ansatz	Nummerisch	
SI_3	Sagittal Index bei Follow-up	Nummerisch	
HM_0	Höhenminderung bei Vorstellung	Nummerisch	
HM_1	Höhenminderung nach dorsaler Stabilisierung	Nummerisch	
HM_2	Höhenminderung nach kombiniertem Ansatz	Nummerisch	
HM_3	Höhenminderung bei Follow-up	Nummerisch	
Schmerz_0	Schmerzen nach VAS bei Vorstellung	Nummerisch	
Schmerz_1	Schmerzen nach VAS nach dorsaler Stabilisierung	Nummerisch	
Schmerz_2	Schmerzen nach VAS nach kombiniertem Ansatz	Nummerisch	
Schmerz_3	Schmerzen nach VAS bei Follow-up	Nummerisch	

9.2 Tabelle für deskriptive Statistik über bildmorphologische Outcomes

Zeit	SI in M ± SD		LVH in M ± SD	
	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe I	Gruppe II
Bei Polytrauma-Vorstellung	10,44 ± 5,79	10,45 ± 6,40	0,74±0,16	0,65 ±0,17
Nach dorsaler Stabilisierung	5,40 ± 3,31	4,07 ± 3,58	0,84 ± 0,13	0,81 ± 0,16
Nach Wirbelkörperersatz	n.a	3,11 ± 2,58	n.a	0,89 ± 0,14
Bei Follow-up	9,17 ± 5,23	5,65 ± 6,70	0,74 ± 0,15	0,81 ± 0,25

10 Danksagung

Für die Überlassung des Themas dieser Arbeit und die ausgezeichnete Betreuung möchte ich mich herzlich bei meinem Doktorvater bedanken.

Mein besonderer Dank gilt Frau Dr. med., die mir bei der Fertigstellung dieser Arbeit stetig mit Rat beiseite stand.

11 Tabellarischer Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Ali Mulhem
Geburtsdatum und Ort: 01.01.1988 in Damaskus, Syrien

Ausbildung/Studium:

1993-2005	Grundschule, Gymnasium und Abitur in Homs, Syrien
09/2005 – 09/2011	Studium der Humanmedizin an der Aleppo Universität, Aleppo, Syrien und Abschluss mit Staatenexamen
10/2007 – 10/2011	Bachelor of Art in Englisch an der Al-Baath Universität, Homs, Syrien
10/2019 – 09/2021	Master of Science (M.Sc.) in Evidence-Based Healthcare (EBHC) an der Oxford Universität, Oxford, Vereinigtes Königreich
05/2021 – Aktuell	Oxford-McCall MacBain Stipendiat für Dphil in Evidence Based Health Care an der Oxford Universität, Oxford, Vereinigtes Königreich
01/2012 – 05/2015	Arzt in Weiterbildung an der Klinik für Neurochirurgie in Uniklinik Damaskus, Syrien
08/2018 – 07/2022	Arzt in Weiterbildung an der Klinik für Neurochirurgie im Klinikum im Friedrichshain (KFH)
08/20022 – 06/2023 07/2023 - aktuell	Facharzt für Neurochirurgie im KFH Oberarzt für Neurochirurgie im KFH

Sprachkenntnisse:

1. Deutsch und Englisch in Wort und Schrift
2. Arabisch als Muttersprache
3. Grundkenntnisse in Türkisch
