

Klinischer und radiologischer Verlauf nach Implantation eines
expandierbaren Wirbelkörperersatzes im Bereich der thorakolumbalen
Wirbelsäule

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Maria Vogel
geboren am 21.04.1991 in Suhl

Gutachter

1. PD Dr. Albrecht Waschke, Bad Neustadt a. d. Saale
2. Prof. Dr. Dr. Gunther O. Hofmann, Jena
3. Prof. Dr. Klaus-Dieter Schaser, Dresden

Tag der öffentlichen Verteidigung: 17.08.2021

INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	1
1 ZUSAMMENFASSUNG.....	3
2 EINLEITUNG	5
2.1 Anatomie und Physiologie der Wirbelsäule	5
2.2 Biomechanik der Wirbelsäule	5
2.3 Sonderstellung Osteoporose und Einteilung osteoporotischer Frakturen.....	6
2.4 Frakturklassifikation.....	8
2.5 Behandlungskonzepte	12
2.5.1 Konservatives Vorgehen.....	13
2.5.2 Vertebroplastie.....	13
2.5.3 Ballon- Kyphoplastie	14
2.5.4 Spondylodese.....	15
2.5.5 Wirbelkörperersatz	16
2.5.5.1 Historische Entwicklung.....	16
2.5.5.2 Allgemeines	17
2.5.6 Kombinierte dorsoventrale Versorgung	17
2.6 Operative Behandlung	19
2.7 Fusion nach Schnake	21
3 FRAGESTELLUNGEN.....	23

4	MATERIAL UND METHODEN	24
4.1	Patientenauswahl	24
4.2	Erfassungsbogen	24
4.3	Allgemeine Angaben	24
4.3.1	Patientenkollektiv	24
4.3.2	Parameter der Datenerfassung	25
4.4	Cobb Winkel.....	26
4.5	Das Implantat.....	27
4.5.1	VLIFT®.....	28
4.6	Statistische Methoden.....	29
5	ERGEBNISSE.....	31
5.1	Patientenkollektiv	31
5.1.1	Demografische Verteilung.....	31
5.1.2	Ursachen für Wirbelkörperfrakturen	32
5.1.3	Frakturverteilung	35
5.1.4	VLIFT® Cages	37
5.2	Fusionsfördernde Maßnahmen	37
5.3	Verlauf.....	38
5.3.1	Nachbeobachtungszeitraum.....	38
5.3.2	Reposition.....	39
5.3.2.1	Repositionsgewinn	40
5.3.2.2	Repositionsverlust.....	43
5.3.3	Komplikationen	44
5.3.3.1	Zugangsweg	46
5.3.3.2	Cage-Sinterungen.....	47

5.3.3.3	Anschlussfrakturen	49
5.3.3.4	Reoperation	50
5.3.3.5	Schmerzen.....	51
5.4	Fusion nach Schnake	53
5.5	Sonderstellung Osteoporose	54
5.5.1	Reposition.....	54
5.5.2	Veränderung der Schraubenlage.....	55
5.5.3	Fusion nach Schnake	56
6	DISKUSSION	58
6.1	Vergleich der erhobenen Daten mit anderen Studien	58
6.1.1	Patientenkollektiv	58
6.1.2	Frakturursachen und Frakturlokalisationen	59
6.1.3	Operation	60
6.1.4	Reposition.....	61
6.1.5	Komplikationen	63
6.1.6	Fusion	65
6.1.7	Osteoporose	69
6.2	Limitationen der Studie	71
7	SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	74
8	WICHTIGE HINWEISE.....	77
9	LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS.....	78

10 ANHANG.....	84
10.1 Danksagung.....	84
10.2 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	85
10.3 Ehrenwörtliche Erklärung	88
10.4 Statistik	89

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Abh.	Abhängigkeit
ALIF	Anterior Lumbar Interbody Fusion
a.p.	anterior - posterior
BMI	Body Mass Index
BWK	Brustwirbelkörper
BWS	Brustwirbelsäule
bzgl.	bezüglich
CT	Computertomografie
DL	Durchleuchtung
GDW	Grund-Deck-Platten Winkel
H0	Nullhypothese
H1	Alternativhypothese
i.d.R.	in der Regel
IQR	Interquartile range bzw. Interquartilsabstand
i.S.	im Sinne
LWK	Lendenwirbelkörper
LWS	Lendenwirbelsäule
MRT	Magnetresonanztomografie
MW	Mittelwert
n	Anzahl
o.Ä.	oder Ähnliches
OD	Odds Ratio
PLIF	Posterior Lumbar Interbody Fusion
SEP	sensibel evozierte Potentiale
SD	Standardabweichung
STIR	Short-Tau-Inversion-Recovery-Sequenz (Fettsuppression)
Tab.	Tabelle
TIVA	Totale intravenöse Anästhesie
TLIF	Transforaminal Lumbar Interbody Fusion
UKJ	Universitätsklinikum Jena
v.a.	vor allem

Abkürzungsverzeichnis

VAS	Visuelle Analogskala
VLIFT®	Vertebral Body Replacement System
vs.	versus
ZNS	Zentralnervöses Nervensystem

Abkürzungen für physikalische Größen und Einheiten:

cm	Zentimeter
mm	Millimeter
g/cm ²	Gramm pro Quadratzentimeter
g/cm ³	Gramm pro Kubikzentimeter

1 Zusammenfassung

Die Wirbelsäule ermöglicht eine sogenannte dynamische Stabilität und dient neben dem Schutz des Rückenmarkes der gleichmäßigen Lastverteilung.

Wirbelsäulenabschnitte, die zwischen Lordose und Kyphose wechseln, weisen besonders starke Belastungen auf. Diese Bereiche sind besonders anfällig für Frakturen.

Einen zunehmenden Stellenwert haben dabei die osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen.

Die Inzidenz bei den 50-79 jährigen in Deutschland liegt bei 74.000/Jahr.

In der nachfolgenden Arbeit sollte deshalb die Knochendichte bezogen auf Komplikationen und Fusion gesondert betrachtet werden.

In die Studie wurden 123 Patienten eingeschlossen, welche in einem Zeitraum von 2009 bis 2013 am Universitätsklinikum Jena in der Klinik für Neurochirurgie einen ventralen Wirbelkörperersatz erhielten. Das Alter der Patienten betrug dabei im Mittel 53 Jahre. Davon waren mit 68,3% mehr als 2/3 männlich. Der durchschnittliche BMI lag bei 24,9 kg/m².

Mit 75,6% stellte ein stattgehabtes Trauma die primäre Ursache für eine Wirbelkörperfraktur dar, gefolgt von der Osteoporose mit 11,4%. Die Spondylitiden machten gemeinsam mit tumorbedingten Frakturen die Minderheit aus.

Generell traten Frakturen im thorakolumbalen Übergang am häufigsten auf. Besonders betroffen war der erste Lendenwirbelkörper (LWK 1) mit 32,5%. Generell fand sich mit 62,6% die Mehrheit bei Frakturen im Lendenwirbelsäulenbereich. Insgesamt 67 von 105 Patienten (63,8%) wiesen sog. Berstungsbrüche mit Hinterkantenbeteiligung auf.

In sämtlichen Fällen handelte es sich bei dem Wirbelkörperersatz um einen expandierbaren Cage mit individuell einstellbaren Endplatten zur optimalen Anpassung an die anatomischen Verhältnisse. Vorwiegend wurden Implantate der Größe 18x32mm (38,2%) und 18x25mm (25,2%) verwendet.

In 85,2% der Fälle erfolgten die intraoperative Anlagerung und das Befüllen des Cages mit Spongiosa.

Im Mittel umfasste die postoperative Nachbeobachtung einen Zeitraum von 12 Monaten (SD±13,8).

Mehrheitlich konnte ein Repositionsgewinn von durchschnittlich $6,2^\circ$ erreicht werden.

Bei 11 Patienten (8,9%), bei denen ein Repositionsverlust zu verzeichnen war, betrug jener im Mittel $2,9^\circ$. Der t-Test für 2 unabhängige Stichproben entkräftete die Hypothese, dass ein Zusammenhang zwischen der Knochendichte und einem möglichen Repositionsverlust besteht.

Bei insgesamt 17,8% (n = 21) von 118 Patienten traten Komplikationen auf. Dabei waren 47,7% (n=55) Lageänderungen des eingebrachten Osteosynthesematerials. In 50,9% trat ein Deckplatteneinbruch des nachfolgenden Wirbelkörpers auf. Bei 4,9% waren Anschlussfrakturen zu verzeichnen. Davon traten 2,4% oberhalb und 1,6% unterhalb des Cages auf. Bei einer Person zeigte sich sowohl ober- als auch unterhalb eine neue Läsion.

Generell ließen sich keine Zusammenhänge zwischen Komplikationen und der Anzahl versorgter Segmente nachweisen (p-Wert > 0,05).

12,2% der Patienten mussten sich einer erneuten Operation unterziehen, wobei es sich in der Mehrheit der Fälle um eine Wundrevision handelte (n = 6)(4,9%). Bei 18 Patienten (36%) ließ sich postoperativ eine Schraubendislokation feststellen, von denen bei 4 Personen (22,2%) eine Revision mit Lagekorrektur stattfand.

Erwähnte Komplikationen zeigten sich von der Art des Zugangsweges unbeeinflusst (p = 0,55). Ebenso unabhängig hiervon traten postoperativ Schmerzen auf. Dabei war weder die Zugangshöhe (thorakal vs. lumbal) (p = 0,8) noch die Art des Zugangsweges (minimalinvasiv vs. klassisch offen) (p = 0,10) entscheidend.

Abschließend konnte eine knöcherne Fusion, entsprechend Grad I und II nach Schnake, bei insgesamt 88,2% (n = 75) festgestellt werden.

Das Einbringen von Spongiosa erhöht dabei die Chance für eine gute knöcherne Heilung um das 1,4 fache. Eine Signifikanz zwischen der Fusion in Abhängigkeit von der Knochendichte konnte nicht nachgewiesen werden. Allerdings zeigt sich bei einem p-Wert von 0,08 eine Tendenz zur Lageänderung der operativ eingebrachten Schrauben bei verminderter Knochendichte.

Daraus ergeben sich neue Herausforderungen für die operative Intervention in Zukunft. Einen neuen Ansatzpunkt bietet dabei u. a. die Verwendung von Cages mit verbreiteter Endplatte. Insgesamt stellt jedoch die ventrale Stabilisierung ein sicheres Verfahren zur Rekonstruktion von Wirbelkörpern mit einer geringen Anzahl an Revisionen dar.

2 Einleitung

2.1 Anatomie und Physiologie der Wirbelsäule

Die Wirbelsäule besteht aus 7 Halswirbeln, 12 Brustwirbeln, 5 Lenden- sowie 4-5 Steißbeinwirbel.

Sie ermöglicht in ihrer Komplexität einen erheblichen Bewegungsumfang (Niethard und Pfeil 2005), die Verteilung von Lasten sowie den Schutz des Rückenmarks.

Die Wirbelkörper nehmen in der Größe von kranial nach kaudal zu (Ausnahme L3- L5), bestehend aus spongiösem Knochen, welcher von einer Kortikalis, der Knochenhaut, umgeben wird. Begrenzt wird er kranial von der sogenannten Deckplatte und kaudal von der Grund- oder auch Bodenplatte (Gerhard Aumüller 2006).

Durch Intervertebralgelenke und Bandscheiben sind die einzelnen Wirbel miteinander verbunden. Die Bandscheiben dienen hierbei als Puffer der auf die knöcherne Wirbelsäule einwirkenden Kräfte.

Zusammen mit den Wirbeln bilden sie eine Funktionseinheit als sog. Bewegungssegment.

Hierbei ist zu erwähnen, dass die Beweglichkeit von kranial nach kaudal abnimmt, wohingegen die statische Funktion zunimmt.

Durch elastische Bänder werden die einzelnen Wirbelkörper miteinander verbunden.

Deren Hauptfunktion ist Sicherung der dynamischen Stabilisierung der Wirbelsäule. Bei hohen Krafterwirkungen steigt die Verletzungsgefahr des in unmittelbarer Nähe verlaufenden Rückenmarkes (Gerhard Aumüller 2006) als Bestandteil des zentralnervösen Nervensystems (ZNS).

Das periphere Nervensystem wird durch die Vereinigung zweier Nervenwurzeln gebildet, welche jeweils ventral und dorsal aus dem Rückenmark entspringen. Sie bilden die sog. Spinalnerven, die schließlich segmental durch die paarig angelegten Foramina intervertebralia austreten.

Unterhalb des ersten Lendenwirbelkörpers beinhaltet der Spinalkanal die Cauda equina, eine Ansammlung von Spinalnervenwurzeln.

2.2 Biomechanik der Wirbelsäule

Zur Vereinfachung der anatomischen Einteilung kann das Drei-Säulen-Modell nach Denis (Abb.1) herangezogen werden. Hierzu wird jedes Bewegungssegment in drei Säulen eingeteilt und umfasst die in der nachfolgenden Abbildung dargestellten Strukturen.

Die vordere Säule besteht aus den anterioren longitudinalen Bändern sowie der ventralen Wirbelkörperhälfte, die mittlere Säule aus der hinteren Hälfte des Wirbelkörpers einschließlich der posterioren longitudinalen Bänder und letztendlich die posteriore Säule, welche die Facettengelenke, Dornfortsätze und die dazugehörigen muskulären und ligamentären Strukturen umfasst (Denis 1983).

Diese Einteilung erlaubt eine Aussage über die Stabilität nach stattgehabten Wirbelsäulenfrakturen. Hierbei spricht man von einer stabilen Fraktur, solange lediglich die vordere Säule betroffen ist. Sobald die mittlere oder dorsale Säule beteiligt ist, steigt das Risiko einer Instabilität. Man spricht von einer instabilen Fraktur sobald mindestens zwei Säulen betroffen sind.

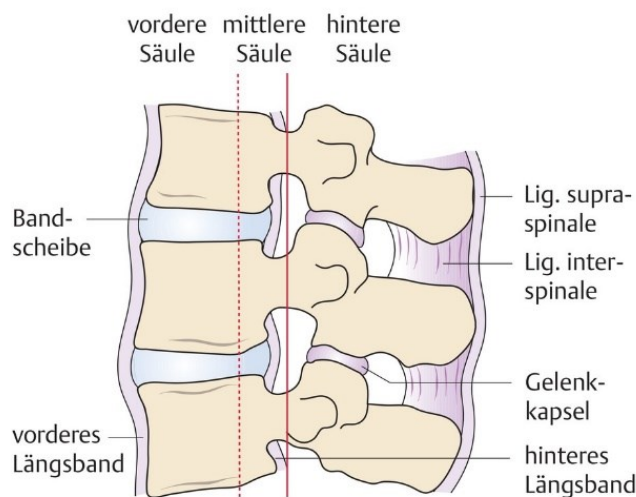


Abb.1: Drei- Säulen Modell nach Denis (Reiser et al. 2017)

2.3 Sonderstellung Osteoporose und Einteilung osteoporotischer Frakturen

In der heutigen Gesellschaft gewinnen die mit Osteoporose assoziierten Wirbelkörperfrakturen immer mehr an Bedeutung. Die Inzidenz von osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen in der Population der 50–79-jährigen Männer und Frauen beträgt ca. 74000/Jahr und wird zunehmend häufiger (Ismail et al. 1999). Aktuell sind an die 5 Millionen Menschen in Deutschland von Osteoporose betroffen (Pfeifer et al. 2001).

Generell sind Frauen häufiger betroffen als Männer. Es gilt zwischen primären und sekundären Ursachen zu unterscheiden. Unter die primären Ursachen fallen die bei Frauen

einsetzende Menopause mit verminderter Östrogenausschüttung und die senile Osteoporose, welche durch eine Osteoblasteninsuffizienz gekennzeichnet ist. Sekundäre Ursachen können die fehlende Belastung bei zunehmender Immobilität, eine langjährige Glukokortikoideinnahme oder ein endokrinologisch bedingter Hyperkortisolismus sein. Nikotin- und Alkoholabusus stellen zudem Risikofaktoren dar und können im Laufe der Zeit vermehrt zu Osteoporose führen (Ma et al. 2012).

Diagnostisch bedient man sich der Hilfe der Osteodensitometrie (Knochendichtemessung) mittels Dual X-ray-Absorptiometrie (DXA).

Der hierbei bestimmte T-Score gibt die gemessene Standardabweichung (SD) vom Mittelwert der maximalen Knochendichte eines gesunden 30 Jährigen an, da hier die maximale Knochendichte, auch als „peak bone mass“ bezeichnet, erreicht wird.

Die Osteopenie wird dabei mit einem T- Score von -1 bis -2,5 Standardabweichungen unterhalb der Norm angegeben, wohingegen die Osteoporose ab einer SD von $< -2,5$ der Norm beginnt. Die Definition einer manifesten Osteoporose beinhaltet die Kriterien der Osteoporose mit einer stattgehabten Fraktur.

Röntgenologisch wird eine verminderte Knochendichte erst ab einem Verlust von ca. 30% im Sinne einer vermehrten Strahlentransparenz sichtbar (Pfeil et al. 2018).

Es zeigt sich eine Verschmälerung der Kortikalis mit zunehmendem Verlust der transversalen Spongiosabälkchen. Da die Wirbelkörper v.a. einer axialen Kraft unterliegen, entsteht das Bild eines „vertikal gestreiften“ Wirbelkörpers (Abb.2).

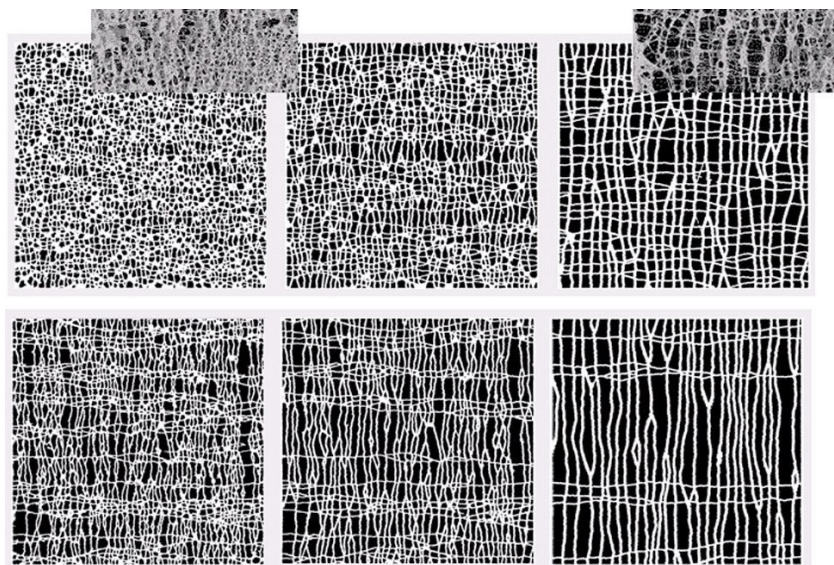


Abb.2: zweidimensionale Darstellung der trabekulären Knochenstruktur in Abhängigkeit von altersbedingten Umbauprozessen (Weinkamer et al. 2004).

Röntgenologisch zeigt sich eine Art „Rahmenstruktur“ mit Betonung der jeweiligen Grund- und Deckplatte. Bei zunehmender Höhenminderung zeigen sich die typischen Veränderungen der Wirbelkörperform, welche auch als Platt-, Fisch- oder Keilwirbel bezeichnet werden.

Literaturangaben zufolge bedingen osteoporotisch bedingte Frakturen mindestens 50% der weltweiten Frakturen dieser Ätiologie (Rajasekaran et al. 2017).

Zur Klassifikation und Festlegung des weiteren Behandlungsprocedures hat die Arbeitsgruppe "Osteoporotische Frakturen" der Wirbelsäulenabteilung der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Traumatologie (DGOU) ein einfach anzuwendendes Klassifikationssystem (OF-Klassifikation) für osteoporotische thorakolumbale Frakturen entwickelt.

Die OF-Klassifikation (Abb.3) besteht zusammenfassend aus 5 Gruppen.

OF 1 zeigt keine vertebralen Deformation (Wirbelödem); OF 2 weist bereits eine Deformation ohne, oder mit geringer ($<1/5$) Beteiligung der Hinterwand auf; wohingegen OF 3 eine Deformation mit deutlicher Beteiligung ($> 1/5$) der Hinterwand kennzeichnet. Bei OF 4 wird bereits von Verlust der Integrität des Wirbelkörpers oder Wirbelkörperkollaps bzw. Zangenfraktur gesprochen und OF 5 beschreibt Verletzungen mit Ablenkung oder Rotation (Schnake et al. 2018).

Die Prävention und Behandlung von Osteoporose ist somit das Schlüsselement bei der Behandlung osteoporotischer Frakturen bei älteren Menschen.

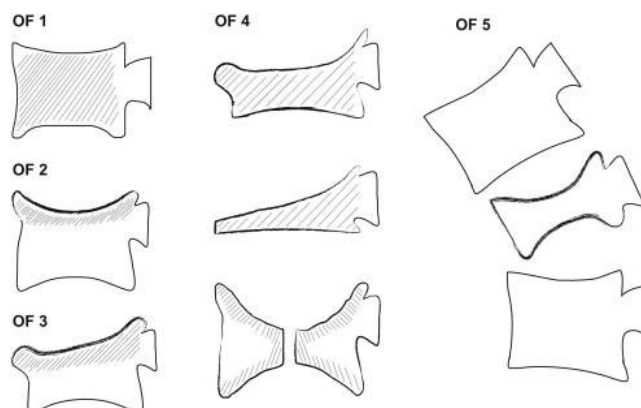


Abb.3: OF- Klassifikation osteoporotischer Frakturen (Schnake et al. 2018)

2.4 Frakturklassifikation

Die Region des thorakolumbalen Überganges ist der Literatur zufolge in bis zu 90% aller Verletzungen der Brust- und Lendenwirbelsäule mit betroffen (Li et al. 2014).

Ursächlich hierfür ist der Wechsel zwischen stark beweglichem und starrem Wirbelsäulenabschnitt (Criscitello und Fredrickson 1997).

Den am häufigsten frakturierten Wirbelkörper stellt hierbei der 1. LWK dar (Reinhold et al. 2009b).

In diesem Wirbelkörperabschnitt kommt es überwiegend zu Kompressionsfrakturen. Diese machen einen Anteil von 60- 70% aus. Grund hierfür ist das sich in diesem Abschnitt der Wirbelsäule vor der BWS befindliche Lot der Schwerpunktklinie.

Ebenso ursächlich ist der anatomische Wechsel zu senkrecht nach außen gerichteten Intervertebralgelenken, welche einen sehr geringen Spielraum gegenüber Rotations- und Scherbewegungen zulassen.

Sowohl Flexions- und Distraktionsfrakturen als auch Translationsfrakturen (früher: Rotationsfrakturen) treten in diesem Bereich v.a. bei großer Krafteinwirkung, z.B. durch Straßenverkehrsunfälle oder Stürzen aus großer Höhe auf (Scheer et al. 2015).

Kommt zusätzlich zur axialen Kompression auch eine vordere Scherbeanspruchung im Traumamechanismus dazu, entsteht mit hoher Wahrscheinlichkeit eine

Spinalkanalstenose, wie sie für akute Berstungsfrakturen in der thorakolumbalen

Wirbelsäule typisch ist. Zur Häufigkeit dieser Frakturen finden sich in der Literatur Angaben um die 10- 20% (Defino und Canto 2007) (Alpantaki et al. 2010).

Generell ist zu sagen, dass sich, basierend auf dem 3 Säulen Modell nach Denis, die Fraktуреinteilung seit 1994 zunächst nach der Magerl Klassifikation richtete (Magerl et al. 1994). Aufgrund einiger Schwierigkeiten bei der Umsetzung in den klinischen Alltag hat man die Magerl-Klassifikation inzwischen durch die AO-Spine Thoracolumbar Classification (Abb.5) ersetzt (Schnake et al. 2017). Die Klassifikation ist an die Magerl Klassifikation angelehnt und unterteilt sich je nach Unfallmechanismus in drei große Untergruppen. Zudem ist innerhalb der Sektionen der jeweilige Schweregrad miterfasst, welcher mit aufsteigenden Zahlen zunimmt.

Typ A Frakturen stellen dabei die Kompressionsverletzungen mit einer vertikal einwirkenden Kraft dar.

Man unterscheidet grob zwischen Impaktions- (A1), Spalt- (A2) und Berstungsbrüchen (A3). Zusammenfassend werden Frakturen der Kategorien A0- A2 auch als nicht tragende Kompressionsverletzungen des jeweiligen Wirbelkörpers bezeichnet.

A0 steht hierbei für kleinere, nicht tragende Frakturen, wie z.B. einer Verletzung des Wirbelbogens. A1 Frakturen bezeichnet man im klinischen Alltag auch als sogenannte wedge compression (Keilfraktur).

A2 Frakturen bilden die Gruppe der Spaltungsbrüche, wohingegen die pincer fracture als Sonderform für eine instabile Kneifzangenfraktur steht.

Der Berstungsbruch (A3/A4) stellt hierbei die häufigste Verletzung dar (Knop et al. 2009).

Deshalb nachfolgend eine genauere Erläuterung: A3 Frakturen stehen für eine inkomplette Berstungsfraktur, wohingegen entweder die Grund- oder die Deckplatte des betroffenen Wirbelkörpers beteiligt ist. A4 ist als kompletter Berstungsbruch mit Beteiligung sowohl der Grund- als auch der Deckplatte definiert.

A3 und A4 Verletzungen gelten als instabil, da hier die hintere Säule (entsprechend des 3 Säulen Modells nach Denis) mitbetroffen ist.

Typ B umfasst die Distraktionsfrakturen. Bedingt werden diese durch eine Hyperflexion- bzw. -extension bei ebenso vertikal einwirkender Kraft.

Betroffen sind hier meist das mittlere und hintere Wirbelsegment. Sie werden auch als Zerreißungsverletzungen bezeichnet, aufgrund der Beteiligung von ossären und ligamentären Wirbelkörperstrukturen.

Unterteilt werden diese in B1 (transössäre Spaltungsfraktur = chance fracture), B2 (Zerreißung des hinteren Längsbandes)

und B3 (Destruktion der Bandscheibe und Zerreißung des vorderen Längsbandes).

Typ B Frakturen umfassen mind. eine Beteiligung von 2 Säulen und bergen somit auch ein hohes Risiko für Instabilität und neurologische Ausfallerscheinungen.

Typ C beinhaltet schließlich die Translationsfrakturen (früher: Rotationsfrakturen) mit sowohl vertikal als auch horizontal einwirkender Kraft. Hierbei kommt es zur Verletzung aller drei beteiligten Säulen.

Frakturen der Gruppe C können somit durchaus Merkmale der Gruppen A und B beinhalten.

Frakturen dieser Subgruppe sind immer instabil und gehen daher auch häufig mit neurologischer Symptomatik einher.

Gegenüber der Magerl Klassifikation schließt die AO Spine Klassifikation den neurologischen Status der Patienten als wichtigen Parameter im klinischen Alltag ein. Die Subspezifizierung reicht von N0- N4. (N0 = neurologisch intakt, N1 = radikuläre Symptome,

N2 =vorübergehendes neurologisches Defizit, das nicht mehr vorhanden ist, N3 = unvollständige Rückenmarksverletzung oder Cauda equina-Verletzung, N4 = komplette Rückenmarksverletzung). NX steht für den unbekanntem neurologischen Status aufgrund von Sedierung oder Kopfverletzungen und + für eine Fortsetzung der Rückenmarkskompression über den frakturierten Wirbelkörperbereich hinaus.

Zusätzlich sind Modifikatoren mit Einfluss auf die Behandlungsstrategie, wie Osteoporose oder ankylosierende Erkrankungen, beschrieben.

Zur primären Diagnostik bietet sich das Röntgen in 2 Ebenen an (a.p., seitlich).

Hinweisend für eine Fraktur können hier sog. Fischwirbel (bikonkave Sinterungsfraktur der Grund- und Deckplatten) oder Keilwirbel (Sinterungsfraktur der Vorderwand), wie in Abb.4 dargestellt, sein. Diese entstehen durch kleine Mikrofrakturen innerhalb des Trabekelwerkes und ergeben je nach Lokalisation der Wirbelkörpersinterung typische Formen (Bartl und Bartl 2013).

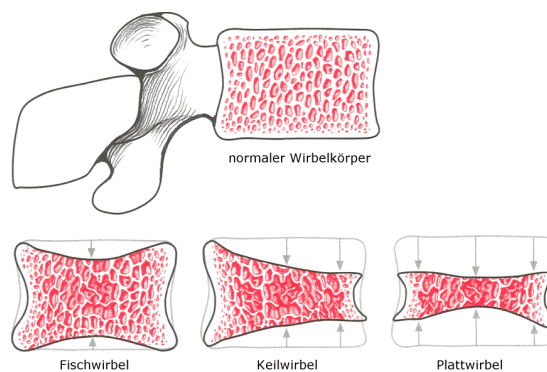


Abb.4: Pathologische Veränderungen der Wirbelkörper (Bartl und Bartl 2013)

Die Computertomografie erhält ihren Einsatz als Traumaspirale in der Notfalldiagnostik sowie bei Verdacht auf eine Myelonkompression bei klinisch typischer neurologischer Symptomatik. Hier sind insbesondere die axialen Aufnahmen von Bedeutung, welche zudem eine Aussage über eine vorliegende Hinterkantenbeteiligung erlauben.

Die Magnetresonanztomografie wird ergänzend insbesondere auch zum Ausschluss von Verletzungen der Bandstrukturen genutzt. Mithilfe der Short-Tau-Inversion-Recovery-Sequenz (STIR) ist sie auch in der Lage, zwischen frischen und alten Frakturen zu unterscheiden (O. Gonschorek March 2015).

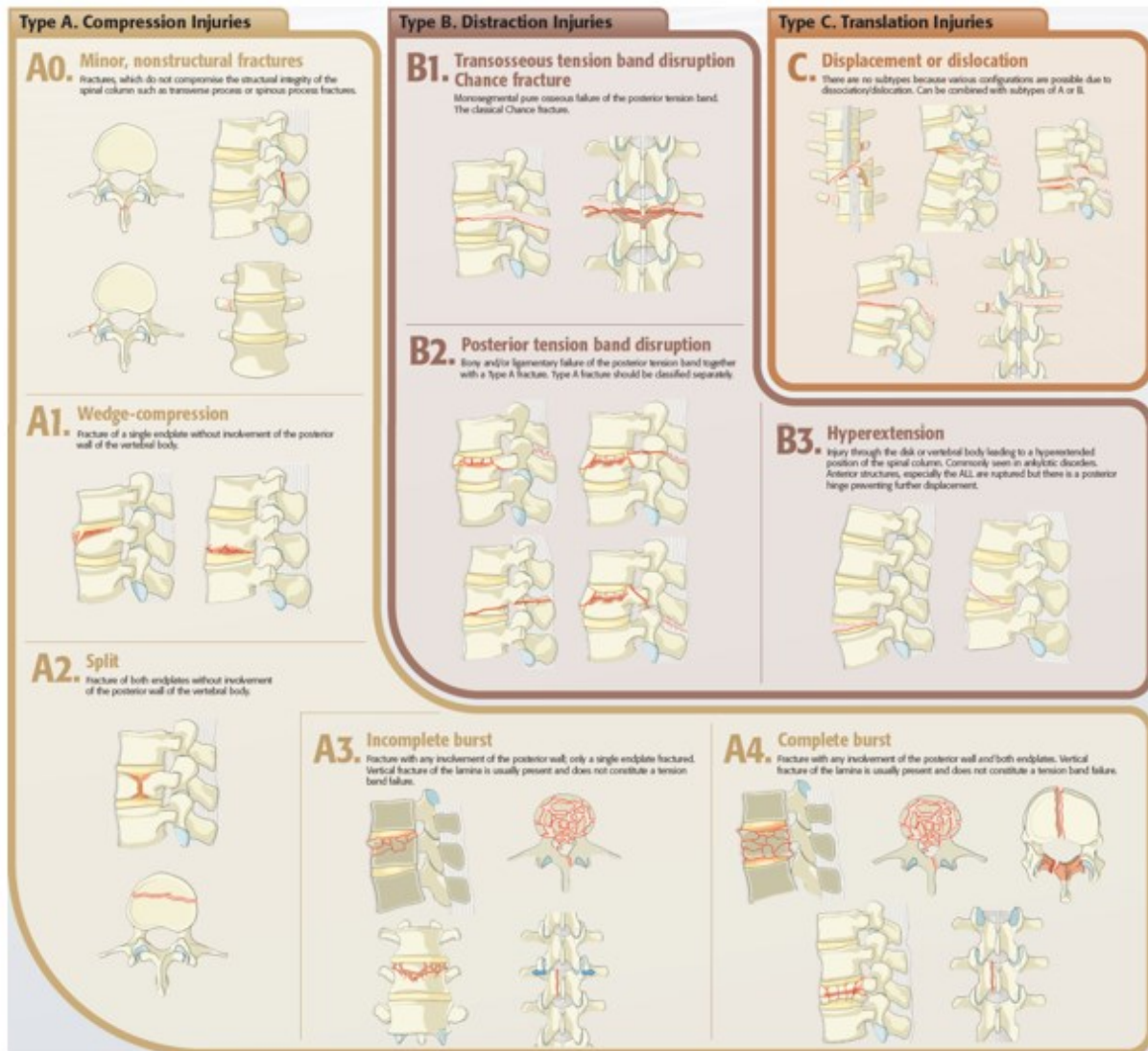


Abb.5: AO-Spine Klassifikation für Wirbelkörperfrakturen im thorakolumbalen Übergang (Vaccaro et al. 2013)

2.5 Behandlungskonzepte

Zur Behandlung frakturierter Wirbelkörper stehen eine Reihe unterschiedlicher Behandlungsverfahren zur Verfügung.

Insgesamt herrscht bei den Autoren noch Uneinigkeit (Knop et al. 2009, Fuentes et al. 2010, Alpantaki et al. 2010) über die Art der Frakturversorgung. Hier stehen sich konservatives Vorgehen und operative Versorgung verschiedenster Arten gegenüber.

Ziel aller sollte es sein, neurologische Defizite zu vermeiden, ggf. die Dekompression des Spinalkanals zu gewährleisten und eine frühzeitige Mobilisierung und Belastbarkeit unter Formstabilität wiederherzustellen (Ulmar et al. 2004).

Ein weiteres Ziel ist es, die durch die Frakturierung entstandene Kyphosierung auszugleichen und eine Zunahme der selbigen zu verhindern, um eine Wiederherstellung der physiologischen Achsenverhältnisse zu gewährleisten (Resch et al. 2000).

Bei der Wahl des Therapieverfahrens sollten auch Faktoren wie das Alter des Patienten, der Frakturtyp, der Umfang von Begleitverletzungen, die Morbidität und die Anamnese des Patienten eine Rolle spielen.

2.5.1 Konservatives Vorgehen

Bei allen Patienten ohne führende Instabilität oder Spinalkanaleinengung ist ein konservatives Vorgehen Mittel der Wahl. Begleitend zur Schmerzmedikation erfolgt eine physiotherapeutische Beübung.

Nicht zuletzt werden die im Zusammenhang mit einer Intervention stehenden Kosten vermieden (Rajasekaran 2010, Dai et al. 2009).

Das Problem der konservativen Behandlung besteht jedoch sowohl in einem geringeren Repositionsgewinn als auch im stärkeren Korrekturverlust im Follow up, beispielsweise im Vergleich zur dorsalen Stabilisierung.

Resch et al fanden für den Grunddeckplattenwinkel ein Repositionsgewinn von $17,1^\circ$ bei den operativ behandelten und $11,1^\circ$ bei den konservativ behandelten Patienten. Der anschließende Korrekturverlust betrug $12,2^\circ$ vs. $14,9^\circ$ (Resch et al. 2000).

Es empfiehlt sich daher, einige Tage nach Therapiebeginn und Mobilisierung eine Röntgenverlaufskontrolle im Stehen durchzuführen, um mögliche zunehmende Frakturverschiebungen frühzeitig erkennen zu können.

2.5.2 Vertebroplastie

Die Vertebroplastie, wie in Abb. 6 dargestellt, ist ein minimalinvasives Verfahren zur Stabilisierung und Versorgung von sowohl benignen als auch malignen Knochenläsionen. Hierbei wird unter computertomografischer und/oder röntgenologischer Bildwandlerkontrolle, Knochenzement (PMMA = Polymethylmethacrylat) in den frakturierten Bereich eingespritzt. „Polymethylmethacrylat“ wird als Knochenfüller bereits seit den 1960er Jahren verwendet. Bascoulergue und Duquesnel führten im Jahre 1988 die perkutane Vertebroplastie erstmals bei osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen und bei Malignomwirbeln durch (Rand et al. 2003).

In der aktuellen DVO-Leitlinie wird die Indikation für eine solche Frakturversorgung bei nachfolgend genannten Kriterien in Erwägung gezogen:

- bei einem Schmerzscore (VAS) von > 5
- nach einem erfolglosen, intensiven, dokumentierten konservativen Therapieversuch
- nach Berücksichtigung anderer Schmerzursachen und
- nach dokumentierter interdisziplinärer Einzelfalldiskussion (Pfeil et al. 2018).

Je nach Größe der Läsion erfolgt die Injektion von bis zu 6ml mit Kontrastmittel versetztem Knochenzement unter ständiger Bildwandlerkontrolle.

Kontraindikation für einen solchen Eingriff sind Allergien gegen verwendete Materialien, ein vorangeschrittenes, in benachbarte Strukturen infiltrierendes Tumorleiden, instabile Frakturen, radikuläre Ausfallerscheinungen, hämorrhagische Diathesen (Rand et al. 2003) sowie eine nicht ausreichend vorhandene Wirbelkörperhöhe von mindestens 3-4 mm.

Vorteilhaft zu erwähnen ist das komplikationsarme Versorgen mehrerer frakturierter Wirbelkörper in einer Sitzung, die geringe Komplikationsrate bei hohem Durchschnittsalter der Patienten und eine deutlichen Schmerzreduktion auf der visuellen Analogskala (VAS).

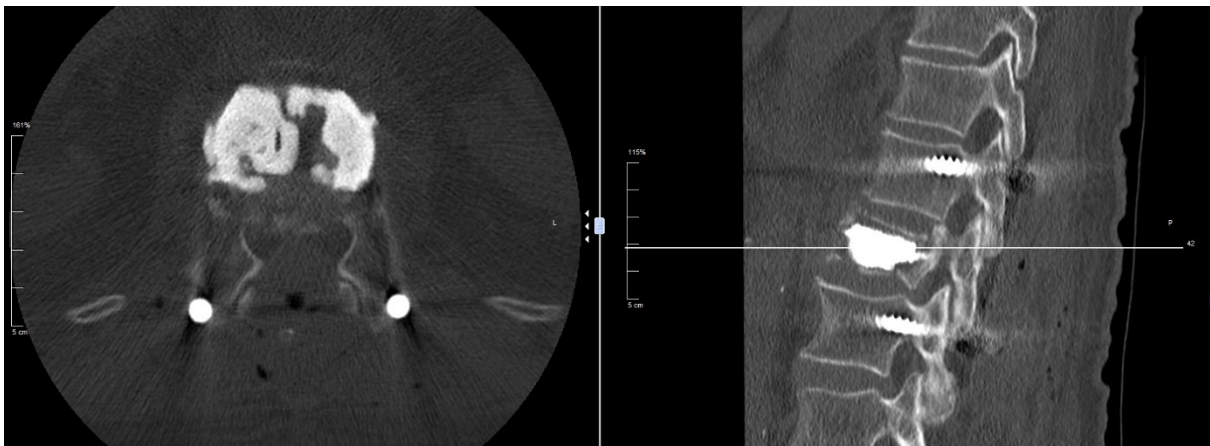


Abb. 6: Vertebroplastie L1 mit Fixateur interne von BWK 12- LWK 2

2.5.3 *Ballon- Kyphoplastie*

Hierbei handelt es sich um ein ähnliches, weiterentwickeltes Verfahren wie bei der Vertebroplastie. Hier wird über den Zugangsweg, der gleichzeitig als Arbeitskanal fungiert, ein Ballon in den frakturierten Wirbelkörper vorgeschoben und aufgeblasen. Hierdurch kommt es zunächst zu einer Aufrichtung des gesamten Wirbelkörpers. Anschließend erfolgt das Befüllen mit Knochenzement zur Stabilisierung.

Die Kyphoplastie ist indiziert, wenn die Höhe des anterioren Wirbelkörpers um 1/3 reduziert ist, bzw. ein Kyphosewinkel von mehr als 15-20° existiert. Zudem darf die Fraktur nicht älter als 3 Wochen sein (Bohdorf und Fessler 2006).

In Abhängigkeit vom Alter der Fraktur werden dabei Aufrichtungen der behandelten Wirbelkörper zwischen 10 und 97 Prozent der ursprünglichen Höhe beschrieben (Garfin et al. 2001) (Dudeney et al. 2002).

Vorteile sind der eingebrachte Biozement aus Hydroxylapatit oder natürlichem Kalziumphosphat, der eine sehr gute Verträglichkeit und Stabilität (Hashemi et al. 2009) aufweist. Zudem erfolgt das Einspritzen mit geringerem Druck als bei der Vertebroplastie, sodass das Risiko für ein Austreten in umliegende Gefäße oder benachbarte Strukturen verringert wird, und somit die Rate an möglichen Begleitkomplikationen.

Die Vorteile sind auch hier eine deutliche Schmerzreduktion mit frühzeitiger Mobilisierung des Patienten aus dem Krankenbett, ein Einsparen an Schmerzmedikation mit all den begleitenden Nebenwirkungen sowie eine Durchführbarkeit bis ins hohe Lebensalter.

2.5.4 Spondylodese

Eines der ersten Implantate von dorsalen Spondylodese waren die sog. „Harrington-Disstraktionsstäbe“, die 1958 erstmals beschrieben wurden (Harrington 2002).

Roy Camille und Saillant beschrieben eine transpedikuläre Verschraubung, bei der zwei Platten paraspinal über mehrere Segmente transpedikulär mit den Wirbelkörpern verschraubt werden. Hierdurch wird eine stabile Spondylodese bei jedoch langstreckiger Fusion erreicht (Roy-Camille et al. 1976).

Ziel dieses operativen Vorgehens ist auch hier die Stabilisierung von instabilen Wirbelkörperfrakturen bei Mitbeteiligung der Hinterkante, sowie eine Dekompression des Spinalkanals und eine Reduktion exazerbierter Schmerzzustände.

Die Fusion geht allerdings mit einer gesteigerten Belastung der angrenzenden Bewegungssegmente einher und führt infolgedessen zu einem beschleunigten Fortschreiten degenerativer Veränderungen (Lee 1988).

Je nach Zugangsweg unterscheidet man bei der Spondylodese zwischen ALIF, PLIF oder TLIF (anterior, posterior oder transforaminal lumbar intercorporeal fusion).

Knop et al 26 verglichen Patienten, welche mittels Fixateur interne von dorsal stabilisiert worden sind hinsichtlich einer transpedikulären Spongiosoplastik. Es zeigte sich, dass die Patienten, welche mit Spongiosoplastik versorgt wurden, einen größeren Korrekturverlust aufwiesen als die Vergleichsgruppe ohne transpedikuläre Spongiosoplastik.

2.5.5 Wirbelkörperersatz

2.5.5.1 Historische Entwicklung

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts dienten zunächst jedoch Knochentransplantate als Wirbelkörperersatz. Das autologe oder homologe Material stammte aus dem Beckenkamm oder den Rippen. Allerdings gestaltete sich der Einsatz schwierig bei Tumorpatienten und/oder stattgefundener Strahlentherapie (Tarhan et al. 2015). Die historische Entwicklung begann 1967 mit der Erfindung eines Wirbelkörperersatzimplantates aus Acrylkunststoff (Scoville et al. 1967).

1973 kombinierte man den eingebrachten Knochenzement zur Defektdeckung mit einer ventralen Plattenosteosynthese, um die anteriore Stabilität zu erreichen (Salzer et al. 1977). Einen weiteren Fortschritt brachte die Kombination des Wirbelkörperimplantates mit Polymethylacrylat (PMMA), welches sich kompressionsstabil und strahlenresistent zeigte.

Der Einsatz von Keramikimplantaten, neben Aluminiumoxid- v.a. die Glaskeramik, brachte den entscheidenden Vorteil durch das Fehlen toxischer Nebenwirkungen mit Einsatzfähigkeit bei bestrahlten Patienten (Yamamuro und Shimizu 1994).

Den Durchbruch erlangte 1986 J. Harms mit der Entwicklung eines nicht expandierbaren Mesh-Cages aus Titan. Der große Vorteil darin ist passgenaue Zuschneiden und Anpassen an die gegebenen anatomischen Verhältnisse. Zudem zeigten sich hier deutlich bessere Ergebnisse bzgl. der Kyphosekorrektur als bei Knochentransplantaten (Stoltze und Harms 1999).

In den 90er Jahren begann schließlich die Entwicklung expandierbarer Cages, um die Passgenauigkeit durch das sog. Press fit zu erleichtern. 1993 brachte die Firma Ulrich Medical den VBR® (vertebral body replacement) Cage auf den Markt, welcher 1996 erstmalig implantiert wurde. Er erlaubte das Platzieren von Knochenzement oder autologer Spongiosa innerhalb des Cages und konnte kontinuierlich an die Platzverhältnisse höhenadjustiert werden.

In einer Studie von 2004 (Khodadadyan-Klostermann et al. 2004) zeigten sich keine Unterschiede hinsichtlich der Biomechanik zwischen verschiedenen expandierbaren Cages untereinander im Vergleich zu nicht expandierbaren Cages.

2.5.5.2 Allgemeines

Die rein ventrale Versorgung bietet sich bei Typ A2- A3 Frakturen nach Magerl mit intakter hinterer Säule an.

Hierfür kommen aktuell nach partieller oder totaler Korporektomie, Knochenspaninterponate oder Metallcages in Betracht.

Die rein ventrale Versorgung wird jedoch selten als Notfalloperation durchgeführt, da sie sich nicht nur als chirurgisch anspruchsvoll gegenüber dorsalen Stabilisierungsverfahren darstellt, sondern auch mit einem höheren Blutungsrisiko und erhöhter respiratorischer Komplikationsrate aufgrund des transthorakalen Zuganges einhergeht.

Der Vorteil einer ventralen Frakturversorgung ist die Fusion von Wirbelkörpern ohne große Einschränkungen im Bewegungsumfang im Gegensatz zur langstreckigen dorsalen Spondylodese. Dies führt wiederum zu einem annähernd physiologischen Bewegungsablauf und somit zu einer Vermeidung bzw. Reduktion von Schmerzen (Kalff et al. 2013).

Zudem erfolgt eine bessere Lastverteilung, eine Belastungsreduktion für die kleinen Wirbelgelenke sowie eine Dekompression des Spinalkanals und der Neuroforamina. Zuchermann et al zeigte in einer randomisierten Studie, dass 45% der Patienten nach Cageimplantation eine deutliche Symptomreduktion innerhalb von 2 Jahren zeigten, vergleichsweise aber nur 7% bei konservativ behandelten Gruppe (Zucherman et al. 2005).

Wie in einer biomechanischen Studie von Bence et al gezeigt werden konnte, erzielt eine anteriore Instrumentation bei thorakolumbalen Typ A und B Frakturen sowohl einen stabilisierenden Effekt in den lateralen Beugebewegungen der Wirbelsäule als auch in Flexion und Extension (Bence et al. 2007).

Eine prospektive multizentrische Studie der DGU (Knop et al. 2001) ergab, dass die initial erzielte Korrektur der kyphotischen Fehlstellung mit $9,0^\circ$ vs. $10,1^\circ$ bzw. $13,7^\circ$ geringer als bei dorsalen bzw. kombinierten Verfahren ist.

2.5.6 Kombinierte dorsoventrale Versorgung

Nicht selten erfolgt gerade bei begleitenden Instabilitätskriterien wie Osteoporose eine erste Stabilisierung von dorsal zur Reposition und Distraction.

Anschließend wird die ventrale Säule nach Korporektomie mittels autologem Knocheninterponat oder Metallcage rekonstruiert. Der Zugang kann als mini open Thorakotomie oder Lumbotomie erfolgen.

Hierbei wählt der Operateur zwischen expandierbaren und nicht expandierbaren „Käfigen“, wohingegen in den letzten Jahren zunehmend die expandierbaren Cages eingesetzt werden (Kandziora et al. 2001, Vahldiek und Panjabi 1998).

Der Harms Korb® ist ein bekanntes Beispiel im Bereich der nicht expandierbaren Cages.

Hierbei handelt es sich um einen Titanzylinder mit durchgehender romboider Fenestrierung, der in verschiedenen Größen erhältlich ist (Stoltze und Harms 1999).

Dabei erfolgt intraoperatives Anpassen durch Zurechtschneiden des Körbchens auf die entsprechende Länge. Anschließend wird autologe Spongiosa aus dem resezierten Wirbelkörper mit letztendlichem Einbau zur Rekonstruktion der vorderen Säule eingebracht. Somit wird eine sofortige übungsstabile Defektdeckung erzielt.

Nachteilig erweist sich jedoch die fehlende intraoperative Möglichkeit der Distraction nach Einbringen des Cages in situ. Dadurch kann keine erhöhte Vorspannung, das sogenannte „Press-fit“, i. S. einer interkorporellen Kompression erfolgen.

Anders als beim VLIFT® (Abb. 7), hier entfällt das Zurechtschneiden durch die Möglichkeit zur Distraction mit individueller Anpassung durch flexible Endkappen.

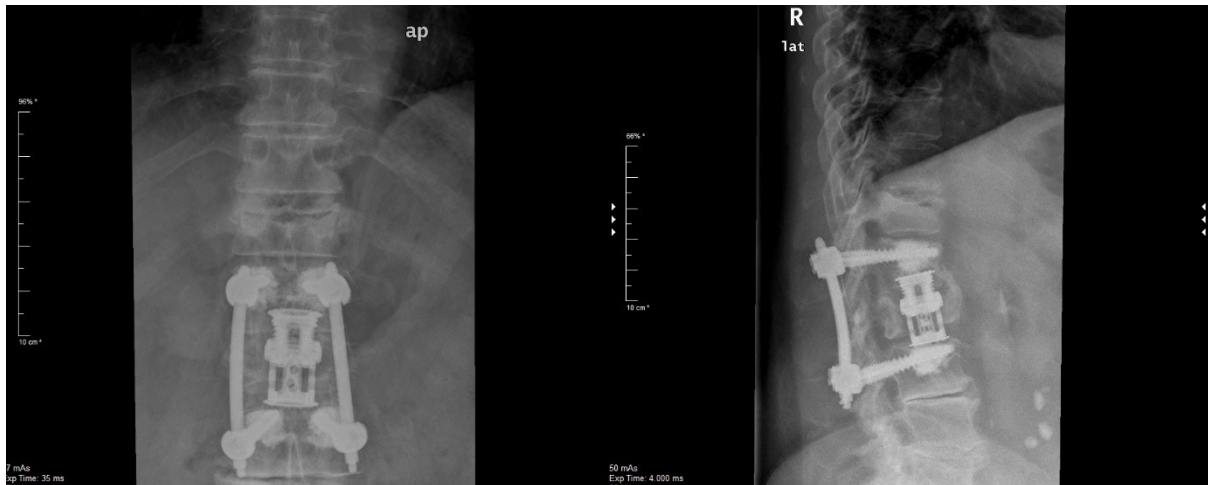


Abb.7: Versorgung einer BWK 12 Fraktur dorsoventral kombiniert mit einem VLIFT ®

Vorteile eines autologen Knochenspaninterponates hingegen sind neben den geringeren Kosten die Verpflanzung von vitalem Gewebe und damit zur Osteogenese befähigten Osteoblasten. Somit stellen sie eine optimale osteokonduktive Basis dar. Additiv trägt die transplantierte Kortikalis zur Steigerung der biomechanischen Stabilität bei. Da es sich um autologes Material handelt und Spender = Empfänger ist, gilt diese Variante als immunologisch unbedenklich.

Nachteilig zu erwähnen ist jedoch die erhöhte Komplikationsrate bzgl. Infektionen und Hämatomen sowie Gefäß- und Nervenverletzungen (Sasso et al. 2005) durch Schaffen eines zweiten OP Situs. Nicht zuletzt spielt die eingeschränkte Verfügbarkeit, z.B. bei Polytraumata eine entscheidende Rolle.

Bei einer kombinierten, dorsoventralen Stabilisierung ist im Vergleich zu einer alleinigen ventralen Versorgung der Bewegungsumfang zwar deutlich eingeschränkt, gewährleistet jedoch in allen Bewegungsebenen eine hohe Stabilität.

Die Ergebnisse der ventralen Stabilisierung allein erwiesen sich dagegen als unbefriedigend. Empfehlenswert aus diesem Grund ist das kombinierte dorsoventrale Vorgehen mit Fixateur interne und expandierbarem Cage. In den Bewegungsrichtungen Flexion, Extension und Seitneigung zeigte das kombinierte dorsoventrale Stabilisierungsverfahren mindestens eine vergleichbare Stabilität zum nativen Präparat. Nur bei der Rotationsstabilität erwies sich die kombinierte dorsoventrale Stabilisierung der nativen Wirbelsäule unterlegen. Dies belegten auch andere Studien (Panjabi et al. 1994, Abumi et al. 1989).

2.6 Operative Behandlung

Nach Indikationsstellung zur operativen Therapie erfolgte meist zunächst eine Stabilisierung von dorsal.

Die Stabilisierung des jeweiligen Wirbelsäulenabschnitts geschieht über die Versteifung oder Fusion von zwei oder mehr benachbarten Wirbelkörpern durch Einbringung von Osteosynthesematerial wie einem Fixateur interne, einer Schrauben- oder Plattenosteosynthese (siehe Abb.8)

Zusätzlich kann bei Knochen mit einer verminderten Knochenqualität die Schraube zusätzlich mit Polymethylmethacrylat (PMMA) bzw. Knochenzement fixiert werden, um die Ausrisskraft zu erhöhen (Vahldiek und Panjabi 1998).

Aufgrund der Frakturmorphologie war bei den eingeschlossenen Patienten zusätzlich eine Abstützung der vorderen Wirbelsäule durch einen Cage notwendig. Die ventrale Stabilisierung erfolgte meist im Rahmen einer zweiten Sitzung.

Auf dem Vormarsch ist die Minimal Invasive Spine Surgery. Hierbei wird durch eine Mini Thorako- oder Lumbotomie (Abb.8) nicht nur das Zugangstrauma verringert, sondern ebenso eine zuverlässige Stabilisierung des entsprechenden Wirbelsäulensegmentes erreicht (Verheyden et al. 2018).



Abb.8: Minimalinvasiver Zugang von ventral (retroperitoneal)

Über eine Mini-Thorakotomie sind hiermit die Segmente Th6- L3 gut erreichbar. Es erfolgt die Lagerung des Patienten in Seitenlage auf einer Vakuummatratze.

Unter Bildwandlerkontrolle wird der zu operierenden Wirbelkörper gekennzeichnet. Der operative Zugang wird meist linksseitig gewählt, um eine mögliche Verletzung der Vena cava oder der nahe dem Zwerchfell anliegenden Leber zu vermeiden. Es erfolgt die Präparation vorbei an dem M. latissimus dorsi und M. serratus, am Oberrand der Rippe bis hin zur Pleura parietalis. Nicht selten ist bei einer Thorakotomie zur besseren Übersichtlichkeit und Handhabung eine Teilrippenresektion von Nöten. Die Beatmung erfolgt ab BWK 10 während des Eingriffs überwiegend über den rechten Lungenflügel. Die nicht belüftete Lunge wird schließlich nach Eröffnung der Pleura mittels selbsthaltender Retraktoren (Abb.9) zurückgehalten und die Wirbelsäule dargestellt (Abb.10).

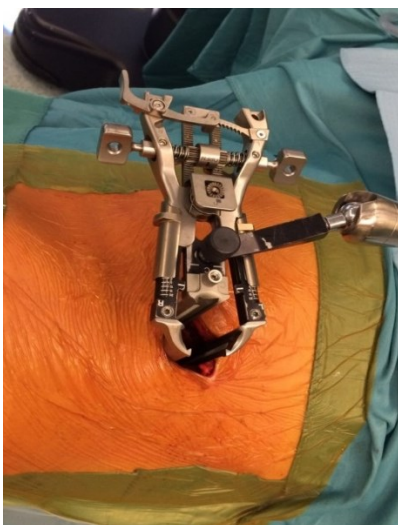


Abb.9: Blick auf das OP- Gebiet

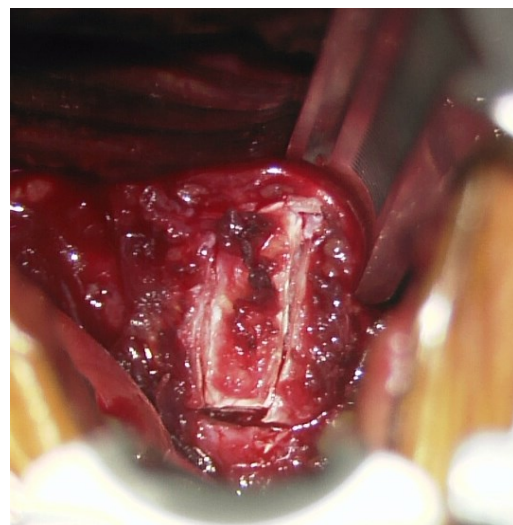


Abb.10: A3 Fraktur LWK 3

Nach Abschluss der Implantateinbringung erfolgen die Readaptation der Pleura und der sachgemäße Verschluss sowie die Anlage einer Thoraxsaugdrainage.

In Ausnahmefällen, bei vorwiegend linkslateraler Anlage der Aorta an den Wirbelkörpern, kann auch ein rechtsseitiger Zugang gewählt werden.

In den geschaffenen Defekt wird ein, meist zuvor mit Spongiosa gefüllter, Titanspreizkörper eingebracht. Bis zum korrekten Sitz wird dieser schrittweise aufgespreizt. Anschließend werden zur Gewährleistung einer später verbesserten Fusion autologe Knochenspäne angelagert. Eine Bildwandlerkontrolle sichert letztendlich die korrekte Lage des eingebrachten Materials.

Nach Einlage einer Bülau- Drainage, um den Abfluss von Blut und Wundsekret zu ermöglichen, erfolgt der schichtweise Verschluss des Situs (Abb.11).



Abb.11: OP- Situs nach vollständigem Wundverschluss mit einliegender Drainage

2.7 Fusion nach Schnake

Die Fusionskriterien nach Schnake finden bei thorakolumbalen Frakturen und anschließend erfolgter Stabilisierung von ventral mittels Cageimplantation Anwendung und sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst (Abb. 12)

Mithilfe der aufgestellten Kriterien soll eine differenzierte Beurteilung der Einheilung implantierter Cages möglich sein. Zur Graduierung der Fusion wurden folgende 4 Kriterien definiert: durchgehende Knochenspanne, Durchbaunungszeichen im Implantat, Stabilität in den Funktionsaufnahmen und das Fehlen von osteolytischen Säumen.

Wie in einer Studie von Schnake et al beschrieben, fand sich nach einem Jahr bei dorsoventral versorgten Patienten nach Fraktur im thorakolumbalen Bereich die Mehrheit (57%) mit Zeichen einer kompletten oder inkompletten Fusion und lediglich 14% blieben ohne Anzeichen einer knöchernen Durchbauung (Schnake et al. 2013)

Komplette Fusion Grad I	<ul style="list-style-type: none"> • Sichtbare Knochenspanne in den Röntgenbildern oder CT • Durchbauungszeichen im Implantat • Differenz des GDW in Flexion und Extension max. 3°
Inkomplette Fusion Grad II	<ul style="list-style-type: none"> • Unvollständige bzw. nicht vollständig durchgehende Knochenspanne • Inkompletter Durchbau im Implantat • Differenz des GDW in Flexion und Extension max. 3° • Keine osteolytischen Zeichen erkennbar
Wahrscheinlich keine Fusion Grad III	<ul style="list-style-type: none"> • Keine durchgehende Knochenspanne • keine Durchbauungszeichen im Implantat • Differenz des GDW in Flexion und Extension max. 3° • Osteolytische Zeichen im kranialen und kaudalen Bereich des Implantates nachweisbar
Keine Fusion (Pseudarthrose) Grad IV	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Umbauzeichen erkennbar • Keine Durchbauungszeichen im Implantat erkennbar • Differenz des GDW in Flexion und Extension >3° • Deutlich nachweisbare osteolytische Zeichen

Abb.12: Fusionskriterien nach Schnake

3 FRAGESTELLUNGEN

Wirbelkörperfrakturen sind ein häufiges wirbelsäulenchirurgisches Krankheitsbild mit unterschiedlichster Pathogenese. Unabhängig von der Ursache spielt die Osteoporose als Volkskrankheit einer immer älter werdenden Bevölkerung mit zunehmend demografischer Umverteilung eine bedeutende Rolle (Aspray und Hill 2019).

Die zur Verfügung stehenden Operationsmethoden sind allesamt erprobt und haben im medizinischen Alltag einen festen Stellenwert.

Mit dieser Arbeit soll nun deshalb u.a. die Rolle der Osteoporose im Zusammenhang mit einer intraoperativen Cageimplantation und deren begleitenden Risiken genauer beleuchtet werden.

Folgende Fragen sollen hierbei im Laufe der Arbeit beantwortet werden:

1. Existiert ein Einfluss der Größe des Cageimplantates auf das Outcome, die Rate an Komplikationen und Reoperationen?
2. Inwieweit zeigt sich beim radiologischen Outcome ein Zusammenhang zur präoperativen Fehlstellung?
3. Gibt es einen Zusammenhang zwischen verminderter Knochendichte und dem klinischen und radiologischen Outcome der operierten Patienten?
4. Wie gestaltet sich das klinische und radiologische Outcome im Zusammenhang mit der Anzahl der zu versorgenden Segmente?
5. Existiert ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Knochendichte und dem postoperativen Repositionsverlust?
6. Zeigt sich ein klinischer und radiologischer Zusammenhang zwischen der Knochendichte und Schraubendislokation bei kombinierter dorsoventraler Stabilisierung?
7. Existiert ein Zusammenhang zwischen Knochendichte und Anschlussfrakturen im Nachbeobachtungszeitraum?
8. Abschließend stellt sich die Frage, ob bei Patienten mit verminderter Knochendichte ein Umdenken in der operativen Versorgung stattfinden muss und wie das Outcome durch eine höhere Komorbidität beeinflusst wird.

4 Material und Methoden

4.1 Patientenauswahl

Im Rahmen einer retrospektiven Studie wurden 123 Patienten ab einem Alter von 18 Jahren mit Pathologien der Wirbelsäule, wie z.B. Tumoren, Frakturen, Spondylitiden, Osteoporose im thorakolumbalen Bereich eingeschlossen.

Betrachtet wurden die Jahre 2009 bis 2013, in denen die operative Versorgung mit Hilfe eines V-Lift Cages am Universitätsklinikum in Jena, Abteilung für Neurochirurgie, erfolgte.

Es fand eine kombinierte dorsoventrale Versorgung in bis zu 2 aufeinanderfolgenden Segmenten bei zerstörter ventraler Säule statt.

Patienten, welche auf unterschiedlicher Höhe Frakturierungen aufwiesen, oder im Verlauf eine erneute Wirbelkörperkompression erlitten, wurden als 2 unabhängige Fälle in die Studie eingeschlossen und betrachtet.

Im elektronischen Archiv der Universitätsklinik Jena wurde hierfür nach Patienten mit einer stattgehabten VLIFT Implantation gesucht. Benötigt wurde hierfür ein ausreichend vorhandener und auswertbarer Datensatz.

Im Vorfeld erfolgte die Genehmigung der Studie über die Ethikkommission.

4.2 Erfassungsbogen

Für die Datenerhebung standen archivierte Patientenkurven, Arztbriefe, Operationsberichte, Aufnahmeuntersuchungsbögen, Notarztprotokolle, Verlegungsberichte, Pflegeberichte, sowie die Computerprogramme SAP (Komponentenversion SAP ECC 6.0) und COPRA (v5.24.776) zur Verfügung. Die archivierten präoperativen radiologischen CT und MRT Befunde wurden mit dem Programm CPW (Cerner ProVision® Workstation v3.2.10) ausgewertet und beurteilt. Alle Daten wurden in einer Excel- Datenbank (Excel 2013) zusammengefasst.

4.3 Allgemeine Angaben

4.3.1 *Patientenkollektiv*

Das durchschnittliche Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Operation betrug 53 (SD±16,8) Jahre. Die Patienten waren zwischen 18 und 84 Jahren alt.

Von den eingeschlossenen Patienten waren 68,3% männlich und 31,7% weiblich.

Die operative Versorgung erfolgte dorsoventral kombiniert.

4.3.2 *Parameter der Datenerfassung*

Für die Fragestellung galt es die Diagnose, präoperative und operative Parameter genauso zu erfassen wie das klinische und radiologische Outcome.

Dazu wurde zunächst die Knochendichte per Osteodensitometrie bestimmt, die Ausdehnung der Läsion in Segmenten angegeben, der Grund- Deckplattenwinkel nach Cobb ausgemessen und der Frakturtyp anhand der Magerl- Klassifikation notiert.

Frakturauslöser waren neben Traumata, Tumore bzw. Metastasen, Spondylitiden oder Osteoporose.

Auf der Osteoporose lag bei dieser Arbeit ein besonderes Augenmerk. Seit 2013 ist die Osteodensitometrie ein präoperativer Standard in der Klinik für Neurochirurgie des Universitätsklinikum Jena. Da allerdings das Patientenkollektiv auch aus Jahren vor 2013 bestand, wurden ergänzend die behandelten Hausärzte zur Vervollständigung der Daten angeschrieben und gebeten, vorhandene Vorbefunde mitzuteilen.

Operativ galt das Interesse besonders dem Zugangsweg, wobei zwischen mini-open und großen offenen Zugängen sowie intra- oder postoperativ aufgetretenen Komplikationen differenziert werden sollte.

Direkt nach der Implantation des VLIFT® Cages wurde die Materiallage zur Objektivierung des operativen Erfolges radiologisch erfasst. Hier wurde zumeist bei bis dato komplikationslosem Verlauf auf das weniger strahlenbelastende Röntgen zurückgegriffen.

Der Nachbeobachtungszeitraum erstreckte sich in der Regel über 2 Jahre (Median: 12 Monate \pm 13,8). In dieser Zeit waren v.a. aufgetretene Komplikationen (Anschlussfrakturen und deren Anzahl, Revisionen der intraoperativ eingebrachten Schrauben) sowie der Repositionsgewinn bzw. -verlust von Bedeutung.

Der Grund-Deckplattenwinkel wurde sowohl präoperativ, direkt postoperativ als auch zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung gemessen und dokumentiert. Dies sollte in aller Regel mittels CT erfolgen, weshalb auch hier die Modalität zur Bestimmung bei der Datenauswertung mit von Interesse war und dokumentiert wurde.

Der Cobb-Winkel sollte die Grund- Deckplattenwinkel miteinander vergleichbar machen. Dieser beschreibt dabei definitionsgemäß den Schnittpunkt zweier Geraden in Richtung der konkaven Wirbelsäulenkrümmung (siehe 4.4.). Gemessen wurde dieser zum prä- und postoperativen Zeitpunkt, nach drei, sechs und zwölf Monaten sowie nach Abschluss der Behandlung.

Um zu einem späteren Zeitpunkt noch den Verlauf und operativen Erfolg objektiv bewerten zu können, wurden die Fusionskriterien nach Schnake zu Hilfe genommen.

Diese orientieren sich an strukturellen Fusionskriterien bei ventralen Spondylodesen, sowie der Differenz des Grund- und Deckplattenwinkels.

Aufgrund der Tatsache, dass das klinische Outcome der Patienten eine nicht unerhebliche Rolle spielt, sollten diese erneut kontaktiert und gebeten werden, einen Fragebogen auszufüllen. Wichtige Punkte waren dabei das aktuelle Schmerzprofil, beurteilt anhand des VAS Scores, vorhandene neurologische Defizite durch das Trauma, die Operation, o.Ä., und die aktuelle Schmerzmedikation. Ebenso fanden sich darin Fragen zum aktuellen subjektiven Befinden, der Reintegration in das Berufsleben oder dem Nachgehen von Freizeitaktivitäten im Vergleich zu präoperativ. Allerdings wurde im weiteren Verlauf auf eine Evaluation verzichtet, da sich bereits bei der Erhebung von Knochendichtewerten in sämtlichen Hausarztpraxen eine nur geringe Antwortbeteiligung zeigte.

Stattdessen wurde auf die dokumentierte VAS- Schmerzsкала, die Medikation und eventuell aufgetretene neurologische Defizite Bezug genommen. Diese Parameter wurden sowohl bei Entlassung als auch im jeweiligen Ambulanzbrief des Follow- up Programmes dokumentiert.

4.4 Cobb Winkel

Der Cobb Winkel wurde nach John Robert Cobb, einem US amerikanischen Chirurgen und Orthopäden benannt.

Anfänglich diente er dem Ausmessen der Skoliose in der Frontalebene und war damit ausschlaggebend für die weitere Behandlung.

Der Cobb-Winkel ist mittlerweile die bevorzugte Methode zur Messung der posttraumatischen Kyphose (Abb.13) im BWS- und LWS Bereich, wie in einer der jüngsten Metaanalysen von Klassifikationen traumatischer Wirbelkörperfrakturen festgestellt wurde (Keynan et al. 2006).

Die Beurteilung erfolgt in diesem Fall in der Sagittalebene. Er kann unabhängig von der diagnostischen Methode (CT, Röntgen, MRT) verwendet werden und fand in dieser Arbeit sowohl präoperativ als auch im Follow up seine Anwendung.

Er sollte den Operationserfolg als messbares Gütekriterium vergleichbar machen und im Idealfall eine Verringerung der präoperativen Kyphose zeigen (Knop et al. 1997).

Hoffmann et al verweisen gleichzeitig auf die Korrekturverluste im postoperativen Verlauf, welche sich bevorzugt bei geringerer Stabilität, u.a. bedingt durch Osteoporose, zeigten (Hoffmann et al. 2013).

In dem Fall, dass zwei aufeinander folgende Wirbelkörper eine Zerstörung aufwiesen, erfolgte die Messung nach ähnlichem Prinzip. Der Unterschied war lediglich, dass sich zwischen den

zwei Neutralwirbeln zwei frakturierte Wirbelkörper befanden, die statistisch als zwei verschiedene Fälle betrachtet wurden.

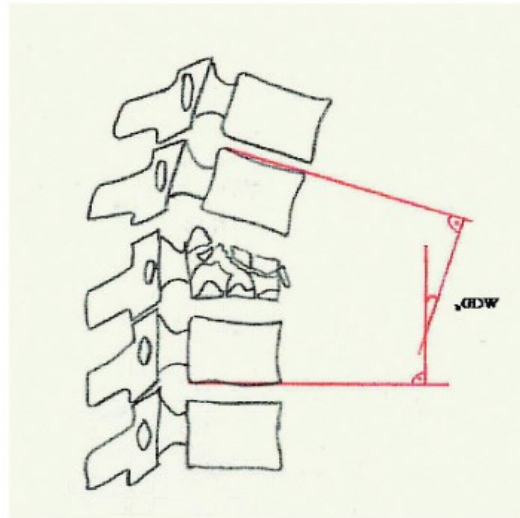


Abb.13: Graphische Darstellung zur Bestimmung des Cobb-Winkels (1. DGOOC: S1-Leitlinie Idiopathische Skoliose im Wachstumsalter. Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie (DGOOC). Stand Oktober 2009)

4.5 Das Implantat

Bei allen in die Untersuchung eingeschlossenen Patienten wurde ein VLIFT® Implantat (Abb.14) eingesetzt.

Je nach Defektgröße bzw. Wirbelkörpergröße erhielten 47 Patienten (38,2%) einen Cage mit den Maßen 18x32mm, 31 Patienten(25,2%) eine Stabilisierung mit 18x25mm, 18 Patienten (14,6%) erhielten ein Implantat der Größe 22x32mm und 14 Patienten (11,4%) einen Cage der Größe 22x37mm.

Genau 11 Patienten (8,9%) wurden mit einem 22x25mm großen Cage versorgt. Zwei Patienten (1,6%) erhielten eine VLIFT®- Implantation mit den Maßen 18x20mm.

4.5.1 VLIFT®



Abb.14: VLIFT® (Stryker GmbH&Co.KG 2006)

Das VLIFT® Wirbelkörperersatz-System besteht aus einem distrahierbaren In-Situ-Implantat (DIS). Über ein Gewinde wird eine flexible Höhenanpassung gewährleistet (Abb.12). Die an beiden Enden angebrachten Endkappen sind mit einem Winkel von 0° oder gewinkelt erhältlich und jeweils um 180° drehbar, um eine genaue Anpassung an bestehende anatomische Verhältnisse einer Thoraxkyphose oder Lumballordose zu ermöglichen. Dabei ist zu beachten, dass auch die jeweils eingesetzten Endplatten zusätzlich die Implantathöhe steigern.

Beide Endplatten sind mit „Dornen“ ausgestattet und sollen für eine bessere Verankerung in der angrenzende Grund- und Deckplatte sorgen. Die Auflagefläche der Endkappen gewährleistet eine gleichmäßige Kraftverteilung und soll das Sintern in benachbarte Wirbelkörperstrukturen möglichst vermeiden.

Gegebenenfalls kann durch Erweiterungen, welche in Press-Fit-Technik auf die beiden Enden des VLIFT®- Implantates angebracht werden, eine höhere Implantatkonstruktion erreicht werden.

Sowohl vor und nach der Distraction ist das optionale Einbringen von autologer Spongiosa oder Knochenersatzmaterial mittels Transplantatstößel möglich.

Nach Abschluss der Cage-Implantation erfolgt nach klinischer und röntgenologischer Lagekontrolle (Abb.15) die Fixierung mittels Verriegelungsschraube (Stryker GmbH&Co.KG 2006).

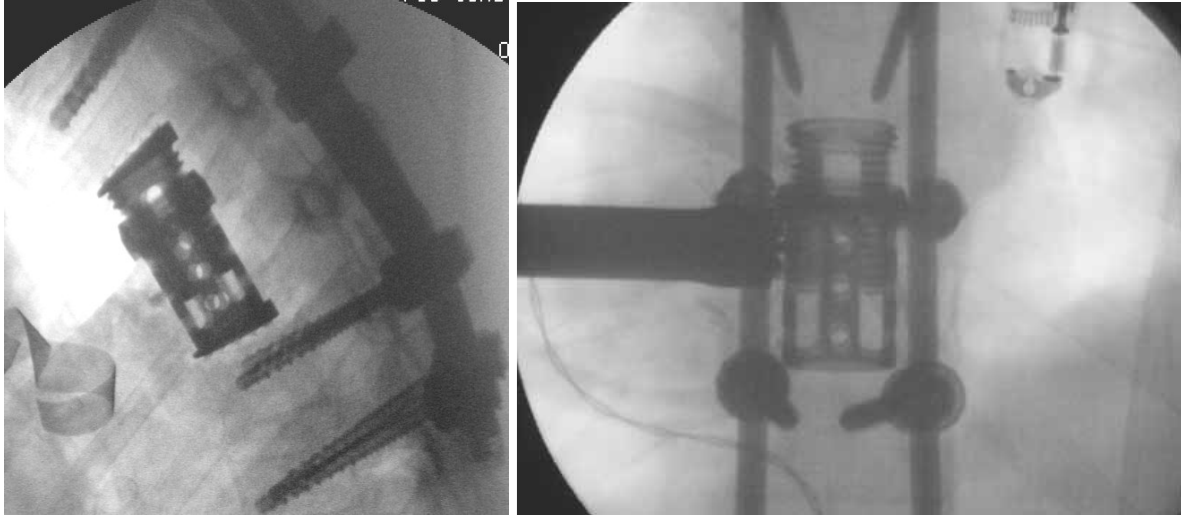


Abb.15: Darstellung des VLIFT® Cages intraoperativ

4.6 Statistische Methoden

Die statistische Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mithilfe des Programms IBM SPSS Statistics Version 23.

Bei metrischen Daten, wie z.B. dem Alter oder dem BMI der Patienten, wurden die Parameter Mittelwert (MW) \pm Standardabweichung (SD) beziehungsweise Median sowie 25. und 75. Perzentile (Interquartilenabstand = IQR) berechnet. Die grafische Darstellung konnte mittels Kreis- oder Balkendiagramm sowie einem Boxplot veranschaulicht werden.

Kategorische Daten wurden als Anzahl und in Prozent wiedergegeben.

Die Berechnung des p-Wertes oder der Odds Ratio (OR) erfolgte in der Regel mit Hilfe der binär-logistischen Regression. Der p-Wert erlaubt eine Aussage über die Signifikanz der ermittelten Werte und somit darüber, ob das Ergebnis zufällig auftrat oder ob sich das Ergebnis der Stichprobe auf die Gesamtheit einer Population übertragen lässt.

Als Signifikanzniveau wurden 5% festgelegt. Ist der p-Wert also kleiner als 0,05 kann davon ausgegangen werden, dass die unterschiedliche Häufigkeitsverteilung nicht zufällig ist und die Variable somit einen signifikanten Einfluss auf die Zielgröße besitzt. Der Test ist signifikant. Eine statistische Tendenz besteht bei einem p-Wert kleiner als 0,2. Mit der OR konnte für eine

jeweilige Variable auf das Quotenverhältnis geschätzt werden und somit eine Aussage gemacht werden, um wie viel wahrscheinlicher ein bestimmtes Ereignis bei entsprechendem Faktor eintritt.

Falls eine Signifikanz nachzuweisen ist, wird die Nullhypothese (H_0) widerlegt und die Alternativhypothese (H_1) tritt in Kraft. Diese besagt, dass ein Unterschied zwischen den beiden getesteten Gruppen besteht.

Nominal verteilte Daten wurden mittels Chi-Quadrat-Test auf Signifikanz überprüft. Bei niedriger Zellbesetzung (<5) in der Kontingenztafel und demzufolge resultierenden zu niedrig erwarteten Häufigkeiten wurde auf den exakten Test von Fisher zurückgegriffen, da die Voraussetzungen für den Chi-Quadrat-Test nicht erfüllt waren.

Bei metrischen Daten wurde der p-Wert mit Hilfe des Kruskal-Wallis-H-Tests ermittelt. Dieser ähnelt in der Durchführung dem Mann-Whitney-Test mit dem Unterschied, dass dieser für den Vergleich mehrerer Gruppen geeignet ist. Der Mann-Whitney-Test beschreibt zudem eine nicht vorhandene Normalverteilung zwischen den metrischen Parametern.

Bei der einfaktoriellen Varianzanalyse (Anova) wurden mehrere Gruppen mit einer unabhängigen Variable verglichen. Hierzu vergleicht man die jeweiligen Mittelwerte der Gruppen sowie deren Varianz untereinander und innerhalb einer Gruppe. Sie ähnelt weitestgehend einem T-Test für mehrere unabhängige Stichproben.

Für den T-Test wird eine Normalverteilung der getesteten Variablen vorausgesetzt.

Der Spearman Koeffizient misst bei nichtparametrischen Tests die Korrelation zwischen zwei unabhängigen Gruppen. Dabei pendeln die Werte zwischen -1 (für negative Korrelation) und +1 für positive Korrelation. Bei Werten von Null sagt dies nahezu keine Korrelation zwischen den Variablen voraus.

5 Ergebnisse

5.1 Patientenkollektiv

5.1.1 Demografische Verteilung

Von insgesamt 123 Patienten waren im Beobachtungszeitraum von 4 Jahren (2009- 2013) am UKJ ca. doppelt so viele Männer wie Frauen eingeschlossen. Hiervon waren 84 Personen männlich (68,3%) und 39 weiblich (31,7%). Das entspricht annähernd einem Verhältnis von 2:1 wie in Abb.16 dargestellt.

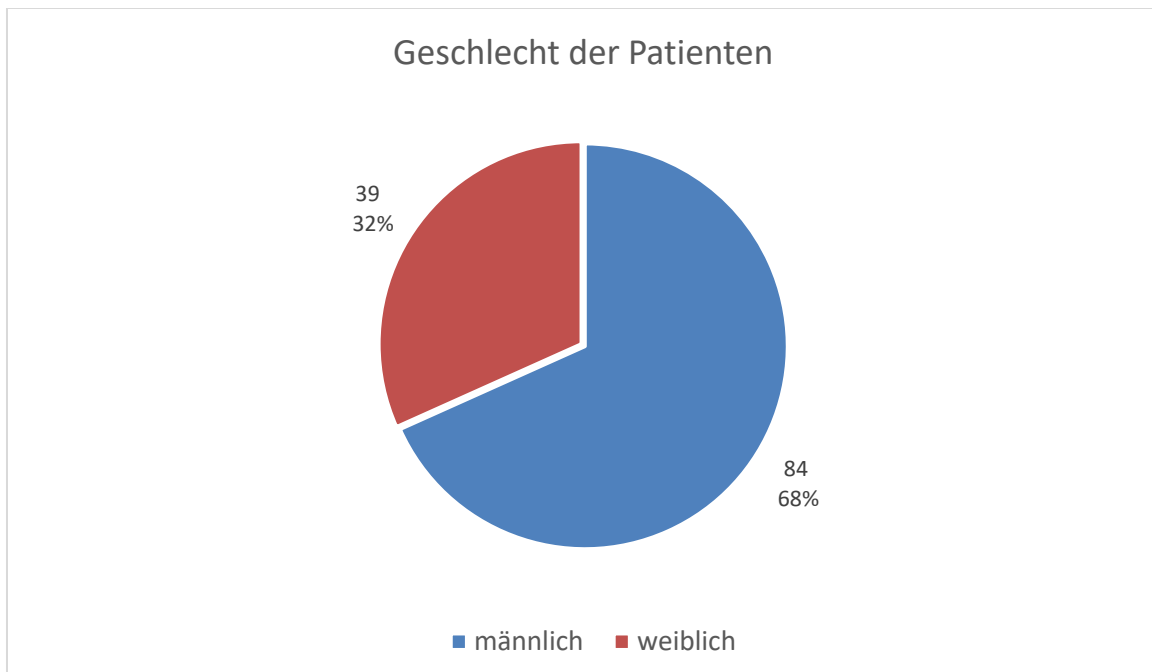


Abb.16: Veranschaulichung der Geschlechterverteilung der 123 operativ versorgten Patienten

Dabei zeigte sich ein durchschnittliches Alter von 53 Jahren ($SD \pm 16,8$ Jahre), wobei Patienten von 18 - 84 Jahren eingeschlossen waren. Ca. die Hälfte der Patienten war zwischen 39 - 64 Jahren alt (Abb.17).

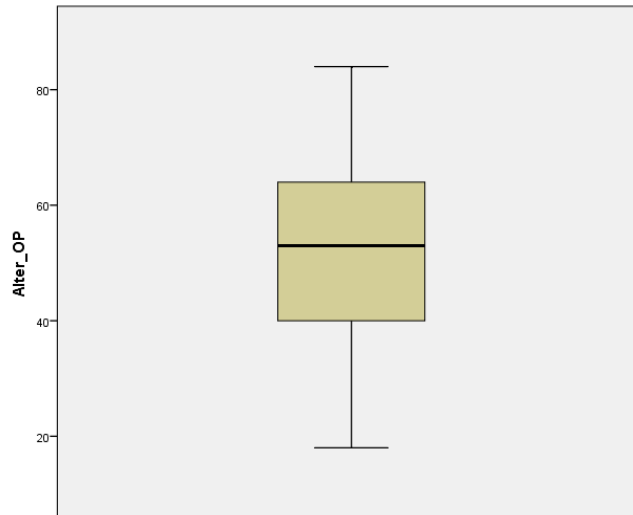


Abb.17: Boxplot zur Veranschaulichung der Altersverteilung mit einem durchschnittlichen Alter von 53 Jahren (SD ± 16,8 Jahre) zum Zeitpunkt der OP

Von 112 Patienten, bei denen die Maße wie Körpergröße und Gewicht dokumentiert waren, betrug der Body Mass Index (BMI) im Mittel 24,9 kg/m² (SD ± 5) (Abb.18).

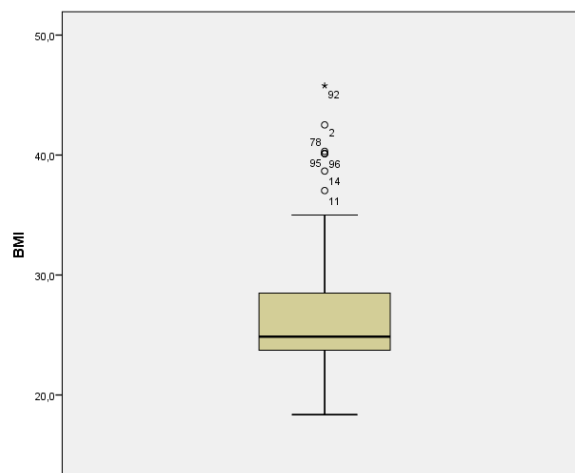


Abb.18: Body Mass Index der operativ versorgten Patienten mit einem Mittelwert von 24,9 kg/m² (SD ± 5)

5.1.2 Ursachen für Wirbelkörperfrakturen

Die häufigste Operationsindikation für eine VLIFT®- Implantation stellte das traumatische Ereignis mit 75,6% (n = 93) (Abb. 23) dar, gefolgt von der Osteoporose mit 11,4 % (n = 14) (Abb. 24). Tumorbedingte Frakturen, z.B. durch Knochenmetastasen (Abb. 21) sowie die Spondylodiszitis (Abb.20) spielten nur eine untergeordnete Rolle (n = 15). Inwieweit eine

bereits schon vorgeschädigte Knochenstruktur bei den Traumata eine Rolle spielte, wurde hierbei nicht mit in Betracht gezogen.

Die Traumata, die zu solchen Verletzungen führen, sind meist das Resultat aus großen Kräften, welche auf den jeweiligen Körper einwirken. Hervorgerufen werden diese meist bei Verkehrsunfällen oder Arbeitsunfällen im handwerklichen Gewerbe.

Knochenmetastasen finden sich vor allem bei Brust- oder Prostatakrebs.

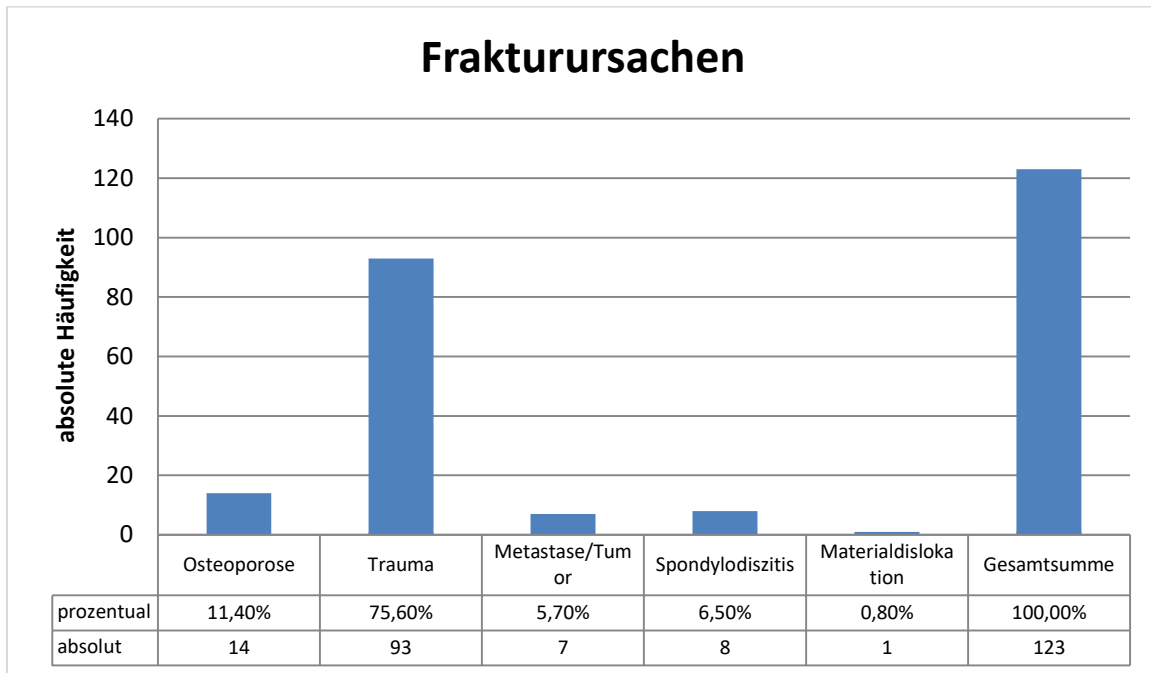


Abb.19: Häufigkeitsverteilung von Frakturursachen

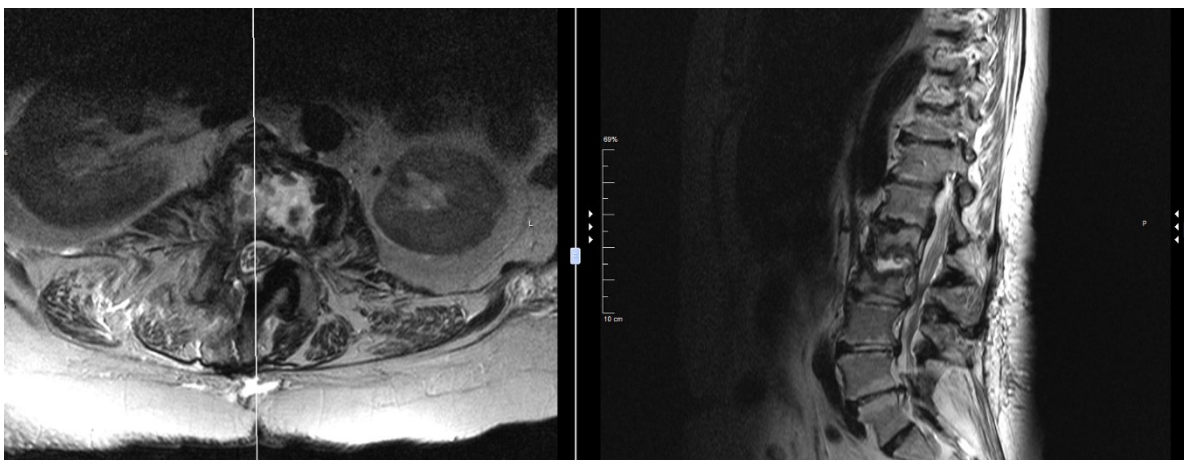


Abb.20: epidurales Emyem LWK 2 mit Kaudaaffektion und Spondylodiszitis

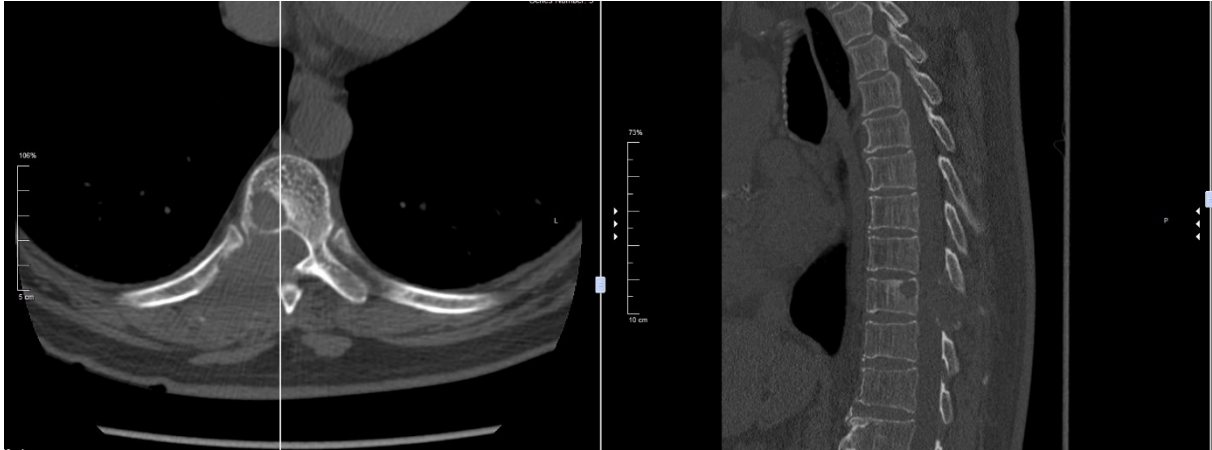


Abb.21: osteolytische MTS im BWK 9

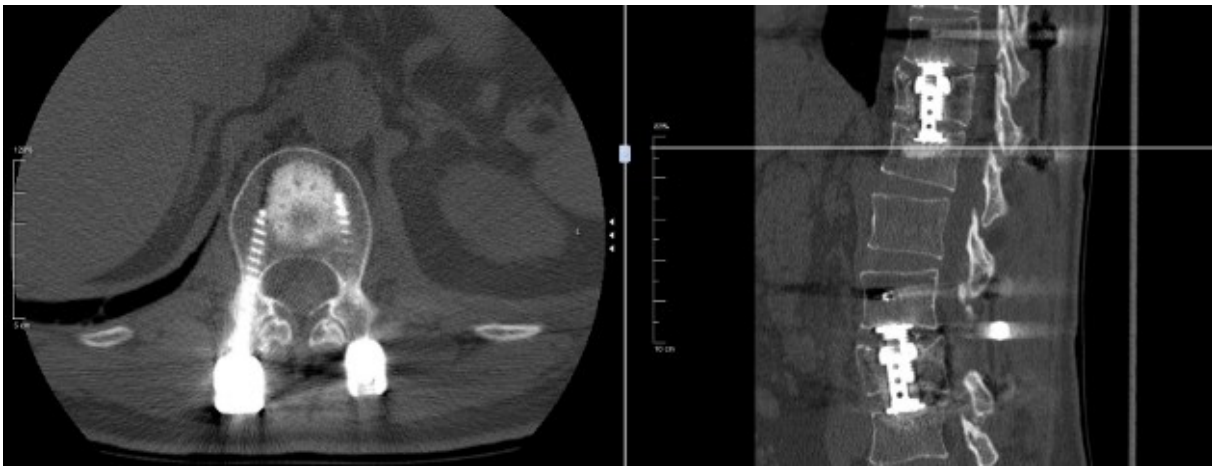


Abb. 22: Sekundäre Deckplattenimpressionsfraktur bei Cagedislokation



Abb.23: Traumatische LWK 1 Fraktur



Abb.24: Osteoporotische
Deckplattenimpressionsfraktur LWK3

5.1.3 *Frakturverteilung*

Die Frakturtypen in Abb.25 zeigten sich breit gestreut, jedoch fiel die Mehrheit mit 67 von 105 Patienten auf Frakturen vom Typ A 3 nach Magerl (Hier findet die alte Klassifikation Anwendung, da die Studie Patienten umfasst welche von 2009-2013 operativ versorgt wurden, entsprechend Typ A3/4 nach der AO Spine Klassifikation). Diese, auch als Berstungsbrüche bezeichneten Frakturen, stellen sich häufig mit einer kompletten Zertrümmerung des Wirbelkörpers plus Hinterkantenbeteiligung dar, jedoch bei erhaltenem dorsalen Bandapparat. Diese Frakturen sind oft instabil. Möglich ist dabei eine Verlagerung der einzelnen Knochenfragmente und Bandscheibenanteile nach dorsal mit Kompression des Spinalkanals und begleitender neurologischer Ausfallsymptomatik. Nicht zuletzt macht dies eine zeitnahe operative Dekompression erforderlich. Aufgrund der für ein solches Verletzungsmuster nötigen, hohen Krafteinwirkung, zeigt sich nicht unerwartet eine positive Korrelation zu der Anzahl der traumatischen Ereignisse.

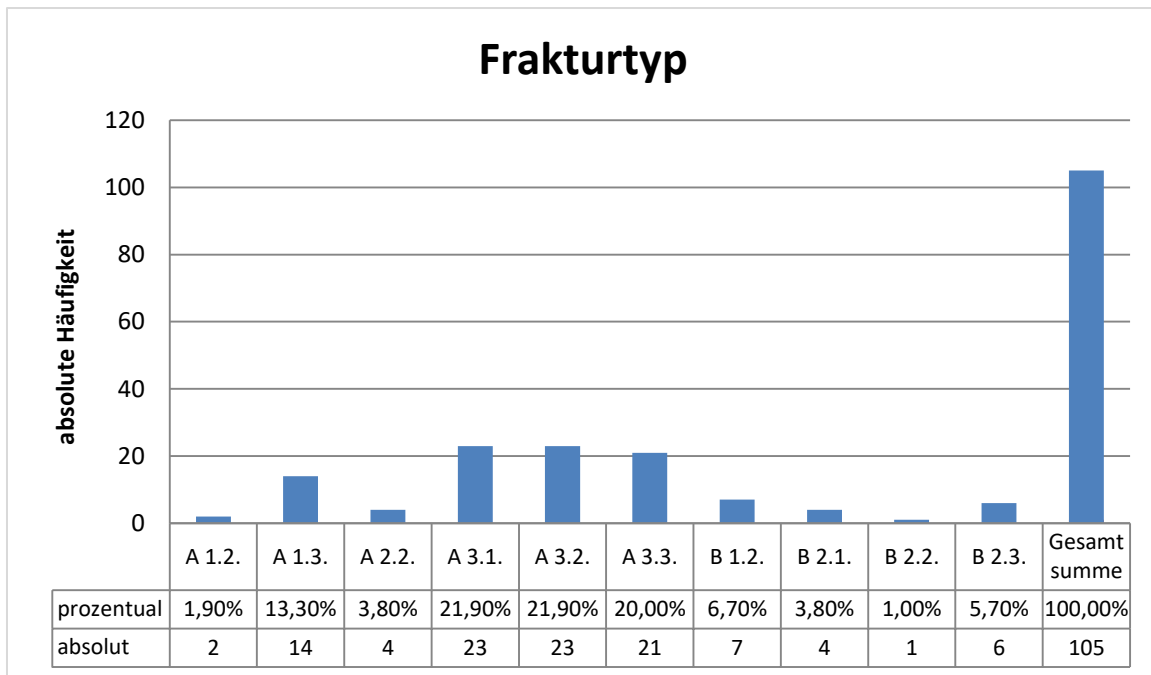


Abb.25: Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Frakturtypen nach der Magerl- Klassifikation

In der nachfolgend aufgeführten Grafik zeigt sich, dass die häufigsten Frakturen mit 32,5% den ersten Lendenwirbelkörper (LWK) (Abb.26) betrafen (n = 40). Generell kann man sagen, dass Frakturen im LWK-Bereich mit 62,6% (n = 77) deutlich häufiger waren als jene im Brustwirbelkörperbereich (37,4%, n = 46).

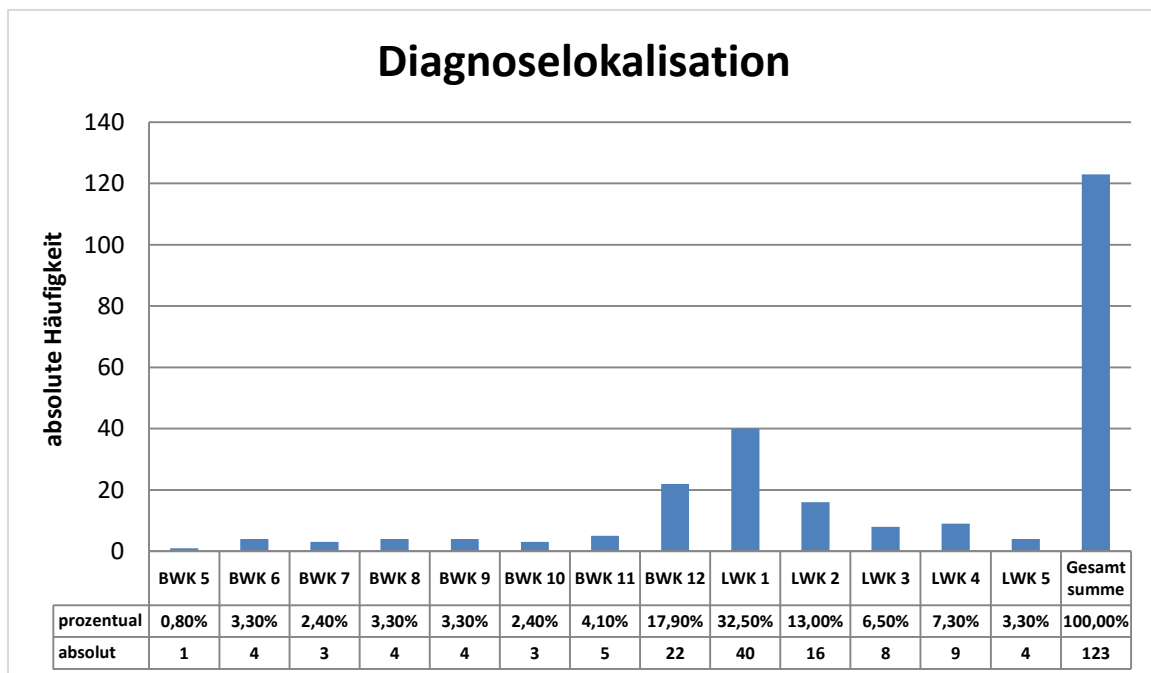


Abb.26: Häufigkeitsverteilung der betroffenen Wirbelkörper

5.1.4 VLIFT® Cages

Von sechs möglichen, zur Verfügung stehenden VLIFT® - Cages der Firma Stryker unterschiedlichen Ausmaßes wurden mehr als 50% der 123 Patienten mit den jeweiligen Größen von 18x32mm (38,2%, n = 47) bzw. 18x25mm (25,2%, n = 31) versorgt. Hierbei steht die erste Angabe in mm für die Höhe des Platzhalters, die zweite beschreibt die Breite.

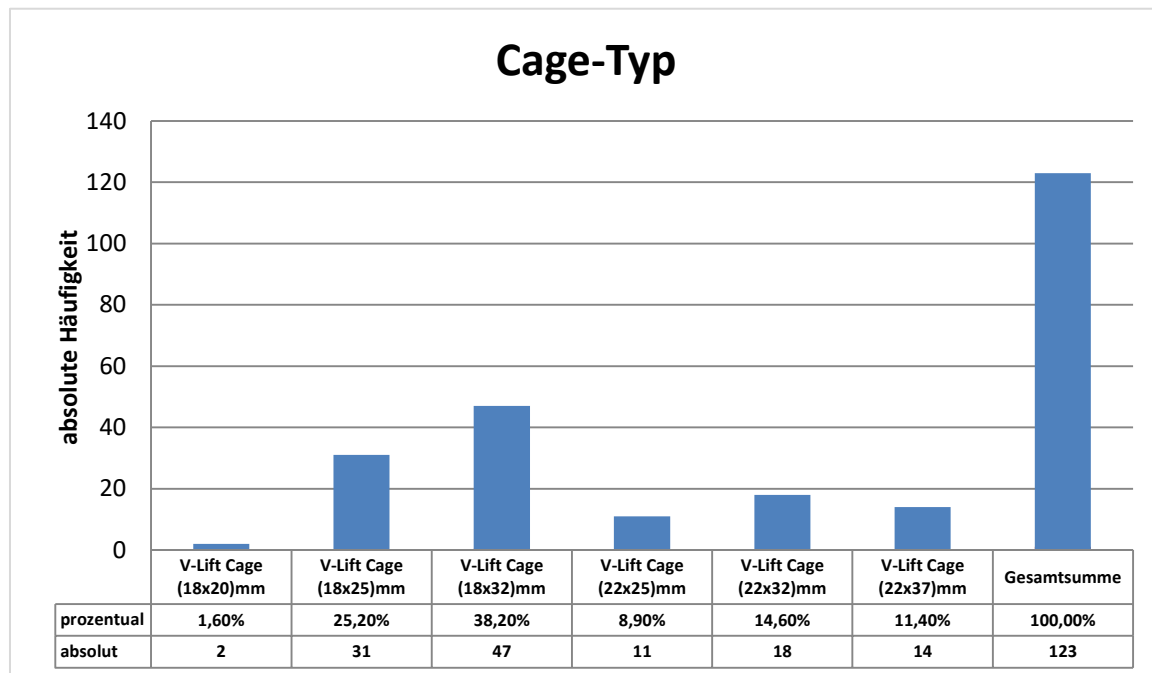


Abb.27: Häufigkeitsverteilung der intraoperativ verwendeten Größen von VLIFT® Cages

5.2 Fusionsfördernde Maßnahmen

Intraoperativ wurde bei 85,2% der eingesetzte Cage mit körpereigener Spongiosa befüllt (Tab.1). Lediglich bei 18 von 122 Patienten wurde auf diese Methode verzichtet. Bei einem Patienten konnte diesbezüglich keine Angabe eruiert werden.

Zielsetzung für diese Methode ist das Erreichen einer höheren Stabilität direkt postoperativ sowie ein zügigeres und möglichst vollständiges Verknöchern und Verschmelzen mit den umgebenden Strukturen als sog. Funktionseinheit.

Die Spongiosa hierfür bezieht man meist aus dem vorher entfernten, frakturierten Wirbelkörper. Weiterhin kann autologes Knochenmaterial aus dem Beckenkamm dienen. Allerdings wird auf diese Methode aufgrund der gesteigerten Komplikationsrate durch Eröffnen eines zweiten OP- Situs meist verzichtet.

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültig	Nein	18	14,6	14,8
	Ja	104	84,6	85,2
	Gesamt	122	99,2	100,0
Fehlend	System	1	0,8	
Gesamt		123	100,0	

Tab.1: Häufigkeit von intraoperativ eingebrachter Spongiosa in den implantierten Cage

5.3 Verlauf

5.3.1 Nachbeobachtungszeitraum

Der durchschnittliche Nachbeobachtungszeitraum der Patienten nach erfolgreich durchgeführter Operation belief sich auf 12 Monate. Der Boxplot in Abb.28 zeigt eine große Streuung der Werte von 0 bis 60 Monaten.

Gründe für die verkürzte Nachbeobachtungszeit sind hierbei vielfältig, u. a. die mangelnde Compliance der Patienten oder das zwischenzeitliche Versterben an etwaigen Begleitkomorbiditäten im hohen Lebensalter. Auch demografische Veränderungen spielen eine Rolle, wie Umzug oder stattgehabte Traumata fernab des jeweiligen Wohnortes.

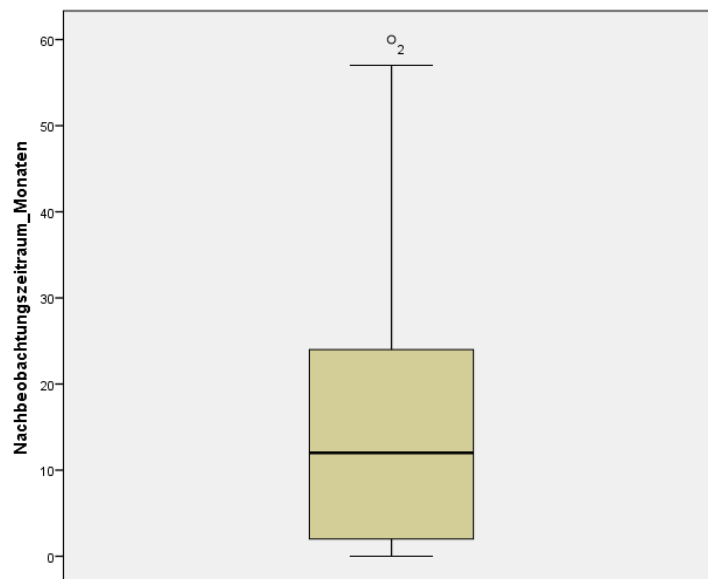


Abb.28 Boxplot mit einem durchschnittlichen Nachbeobachtungszeitraum von 12 Monaten (SD: $\pm 13,8$) nach VLIFT® Implantation

5.3.2 Reposition

Aufgrund der Fraktur kommt es häufig zu einem Verlust des physiologischen Alignments der Wirbelsäule. Eine Zielstellung der Operation ist die Wiederherstellung des physiologischen sagittalen Profils. Die Messung des Alignments erfolgte anhand des bisegmentalen Cobb-Winkels.

Dieser wurde präoperativ und postoperativ zu den jeweiligen Verlaufskontrollen gemessen.

Der Verlauf der Cobb-Winkels eines jeden Einzelnen über den jeweiligen Messzeitraum zeigt in der Mehrheit einen annähernd linearen Verlauf (wie in Abb.29 dargestellt).

Die größten Unterschiede bei den gemittelten Cobb-Winkeln sieht man zwischen dem gemessenen prä- und postoperativen Zeitpunkt und zwischen dem präoperativen Messzeitpunkt sowie dem Mittelwert nach Abschluss der Behandlung. Diese Werte weisen jeweils mit einem $p < 0,05$ eine Signifikanz bzgl. der Differenz auf.

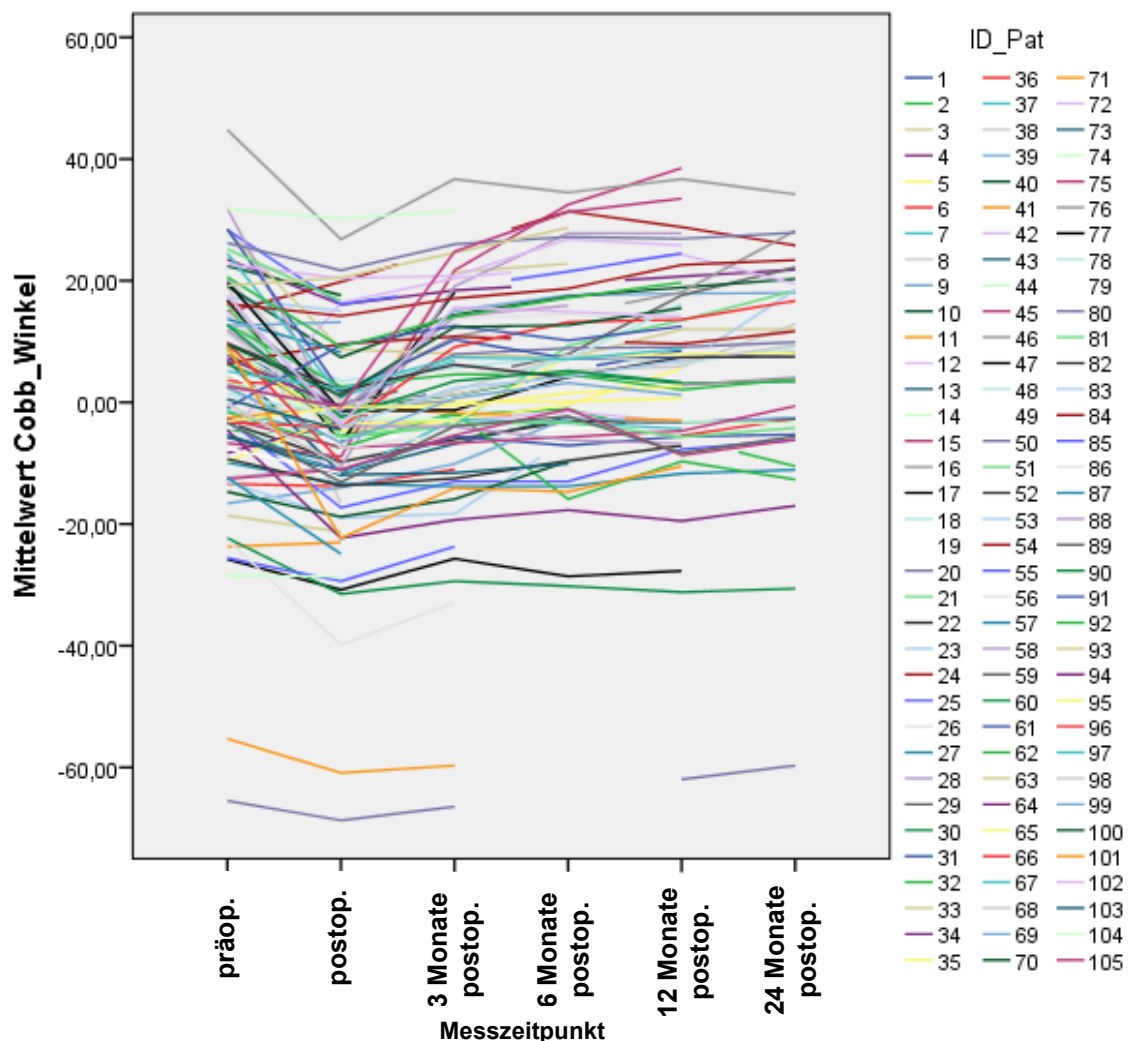


Abb.29: Gemessene Cobb-Winkel in Abhängigkeit von der Nachbeobachtungszeit in Monaten

5.3.2.1 Repositionsgewinn

Ein operatives Ziel bestand wie schon erwähnt darin, einen sogenannten Repositionsgewinn zu erreichen. Dieses Vorgehen beschreibt eine Verhinderung der posttraumatischen Kyphose durch intraoperative Lordosierung. Im Median wurde ein Wert von $6,2^\circ$ gemessen und wie im Boxplot (Abb.30) dargestellt, konnten bei 50% der Patienten Werte zwischen $2,2^\circ$ - $12,6^\circ$ erreicht werden.

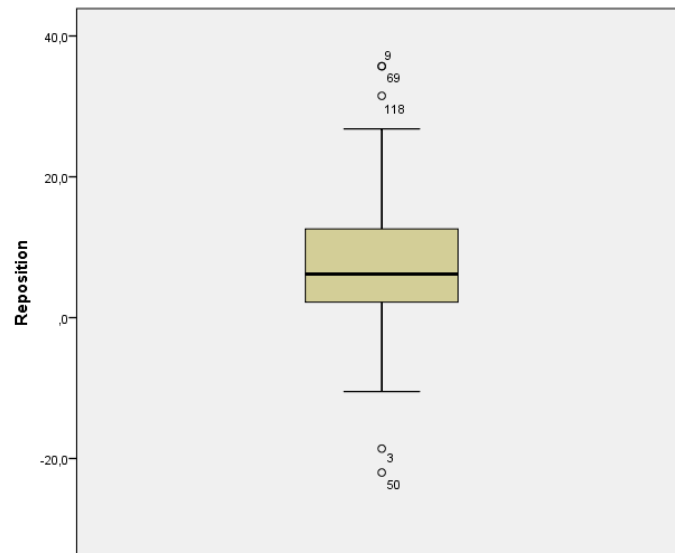


Abb.30: Boxplot zur Veranschaulichung des durchschnittlichen Repositionsgewinnes postoperativ (Median: $6,2^\circ \pm SD: 9,3^\circ$)

Das Histogramm in Abb.31 veranschaulicht zusätzlich noch einmal, dass in der Mehrheit der Fälle der gewünschte Repositionsgewinn über den Beobachtungszeitraum erzielt werden konnte.

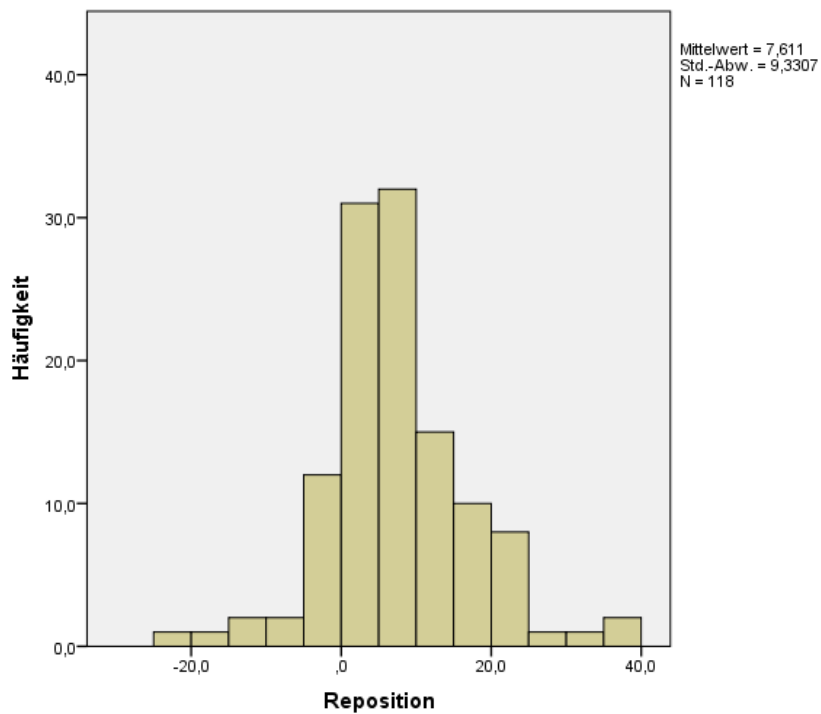


Abb.31: Balkendiagramm zur Veranschaulichung des Repositionsgewinnes bzw.- Verlustes in Grad postoperativ

Der Repositionsgewinn zeigt bzgl. des eingebrachten Cagetypes keine deutlichen Unterschiede ($p = 0,87$) (Abb.32).

Die durchschnittlich erreichten Werte des Repositionsgewinns liegen bei ca. 9° .

Den Cage mit der Größe 18x20mm gilt es zu vernachlässigen aufgrund des zu geringen Stichprobenumfangs.

Tabelle 3 zeigt nachfolgend die gemittelten Repositionsgewinne in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Nachuntersuchung. Hier wird erneut ein schrittweiser Repositionsverlust über den Zeitverlauf ersichtlich. Die sogenannten „Ausreißer“ wurden in diese Berechnung nicht einbezogen.

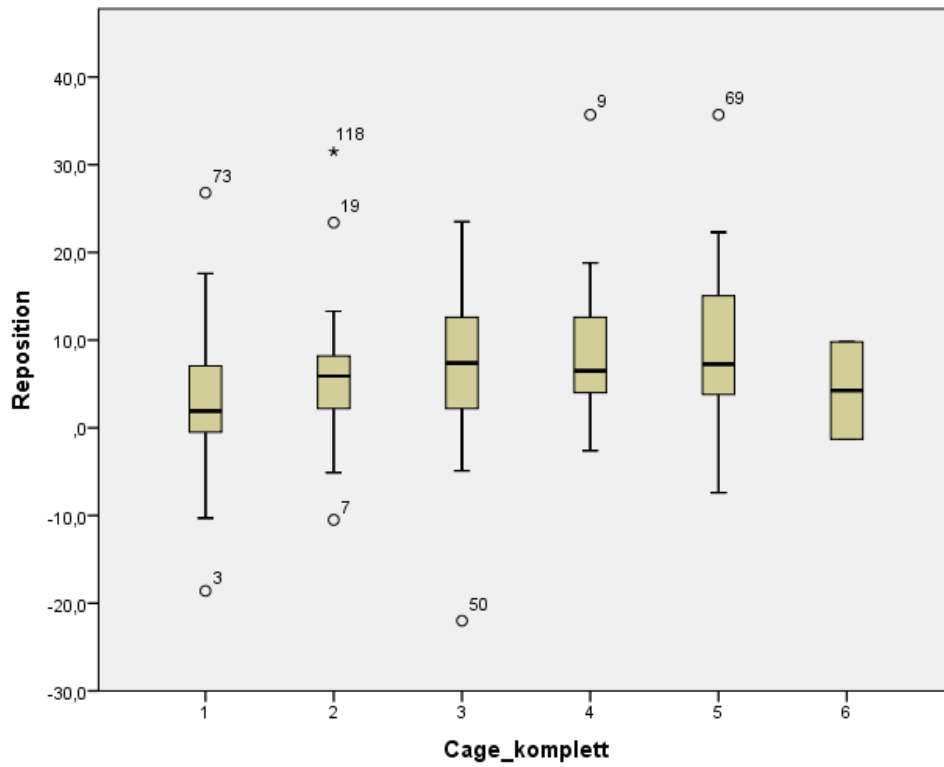


Abb.32: Repositionsgewinn einzelner VLIFT® - Cages ohne nachweisliche Signifikanz. Die außerhalb des Boxplots veranschaulichten Zahlen entsprechend sogenannten „Ausreißern“ (Werte weit außerhalb des durchschnittlichen Normbereiches)

Cagetypp in mm	Anzahl (n)	Mittelwert (MW)	Standardabweichung (SD)	95% Konfidenzintervall für den MW Untergrenze/Obergrenze		Min	Max
22x25	8	8,15	94,05	0,29	/16,01	0,6	26,8
22x32	15	9,51	80,72	5,04	/13,98	2,1	31,5
18x25	25	9,80	67,48	7,01	/12,59	2,0	23,5
22x37	10	12,82	92,91	6,17	/19,47	4,0	35,7
18x32	41	9,92	76,84	7,49	/12,34	0,8	35,7
18x20	1	9,80	-	-	-	9,8	9,8
Gesamt	100	9,97	77,03	8,45	/11,50	0,6	35,7

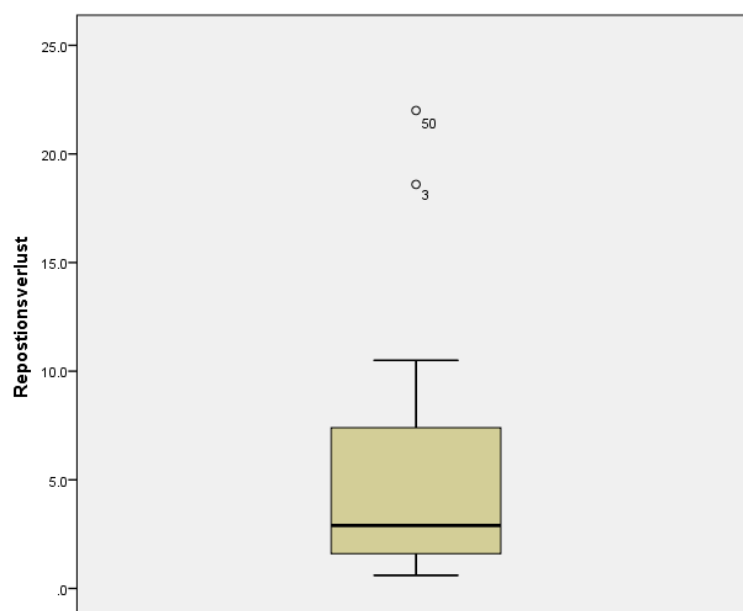
Tab.2: Repositionsgewinn einzelner VLIFT® - Cages

Messzeitpunkt in Monaten	0	3	6	12	24
MW des GDW in °	10,65	9,31	8,21	8,29	7,77

Tab. 3: Mittelwert des Repositionsgewinnes in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Nachuntersuchung

5.3.2.2 Repositionsverlust

Nicht immer konnte das Ziel der Lordosierung erreicht werden. Wie in Abb. 33 veranschaulicht, stellt sich der Repositionsverlust postoperativ als deutliche Minderheit dar. Bei 11 Patienten (8,9%), bei denen ein Repositionsverlust zu verzeichnen war, betrug jener im Mittel $2,9^\circ$, wobei 50% der Patienten zwischen $1,6^\circ$ und $8,1^\circ$ lagen.

Abb.33: Boxplot zur Darstellung des postoperativen Repositionsverlustes (Median: $2,9^\circ \pm 6,2^\circ$)

Zwischen den verschiedenen Größen der VLIFT® Cages erweist sich kein signifikanter Unterschied bzgl. des durchschnittlichen Repositionsverlustes (Abb.34). Der Mittelwert liegt hier annäherungsweise um die 5°. Eine Ausnahme bildet der Cage mit den Maßen 22x25 mm. Hier zeigt sich ein durchschnittlicher Wert von 10°.

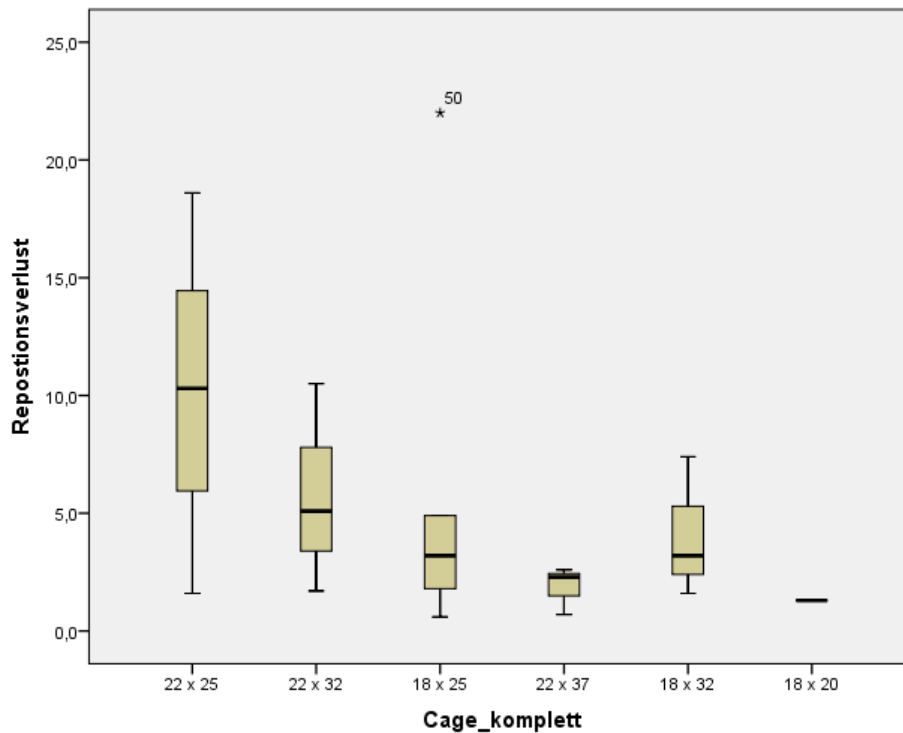


Abb.34: Repositionsverlust in Abhängigkeit von den verschiedenen VLIFT® Cages

5.3.3 *Komplikationen*

Von insgesamt 118 erfassten Patienten zeigt nachfolgend eine Übersicht die Art aller stattgehabten Komplikationen (Tab.4) und gegebenenfalls einen Zusammenhang zu prädisponierenden Faktoren.

Komplikationen	Anzahl	Relative Häufigkeit
Repositionsverlust	n = 18	14,6%
Sinterungen in angrenzende Wirbelkörper	n = 55	44,7%
Anschlussfrakturen:	n = 6	4,9%
• Oberhalb der Spondylodese	n = 3	2,4%
• Unterhalb der Spondylodese	n = 2	1,6%
• Sowohl oberhalb als auch unterhalb der Spondylodese	n = 1	0,8%
Revisionen der Schraubenlage	n = 4	22,2%
Veränderungen der Schraubenlage	n = 18	36,0%
Wundrevision	n = 6	4,9%

Tab.4: Erfasste Komplikationen und deren numerische Angabe

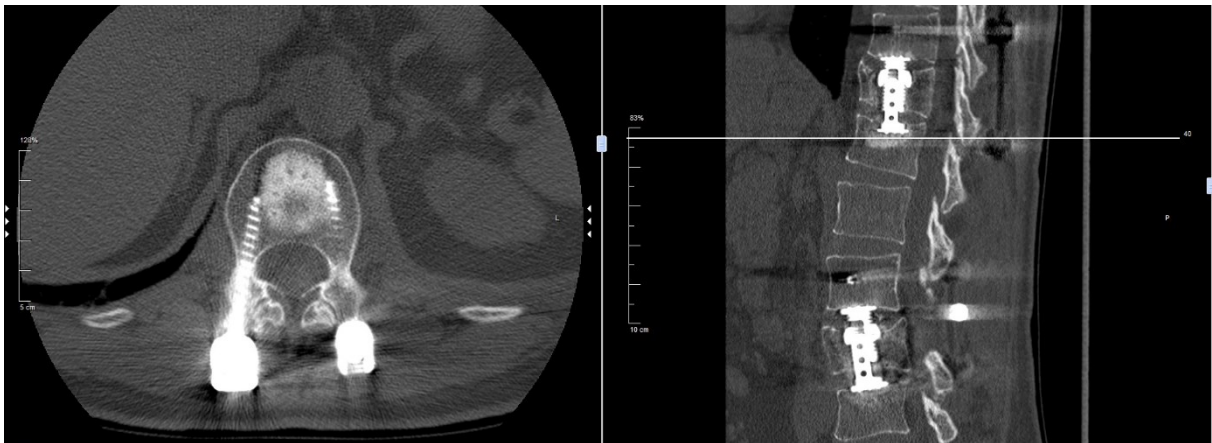


Abb.:35: Deckplatteneinbruch in den angrenzenden LWK 1

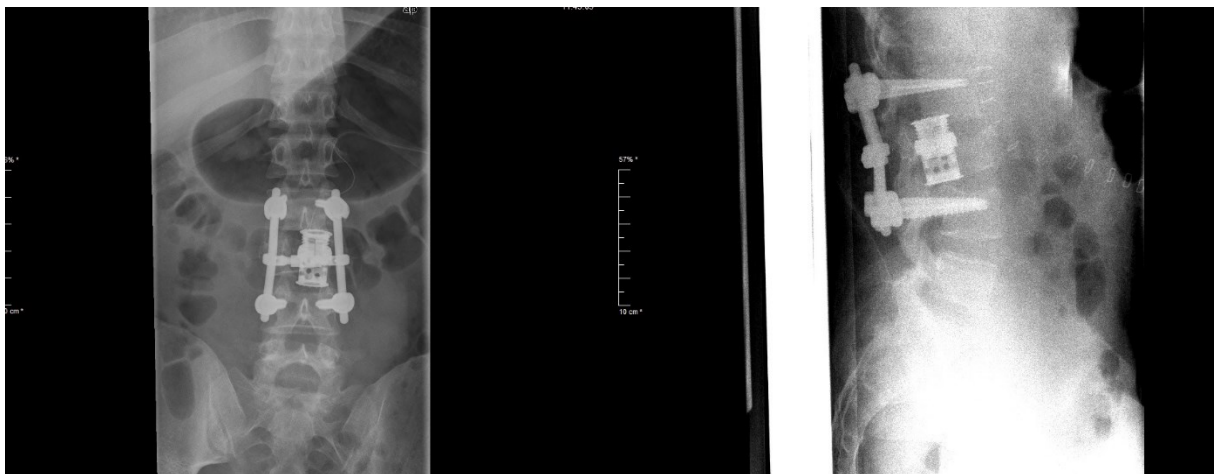


Abb.36: Beispiel einer zunehmenden postoperativen Cagedislokation mit nachfolgend notwendiger Reposition

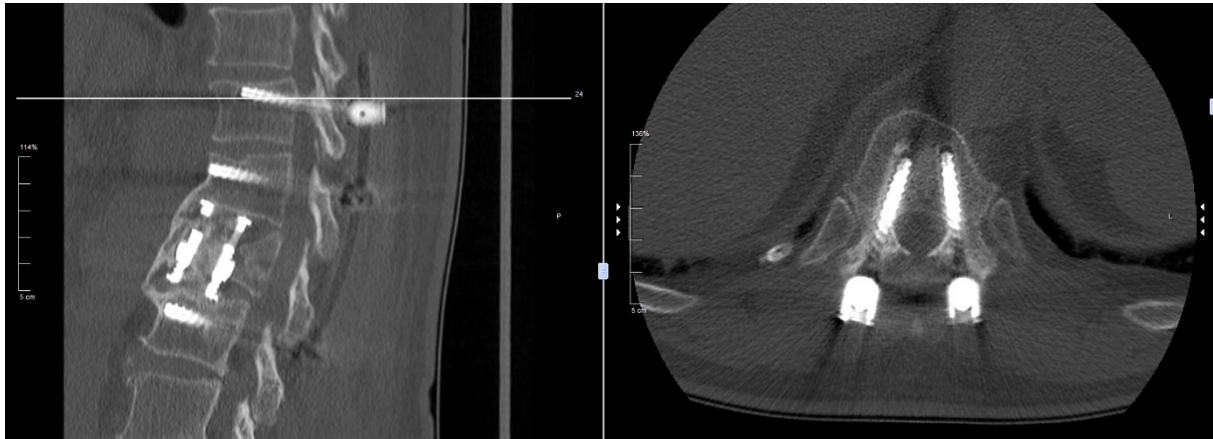


Abb. 37: Beispiel einer Schraubenlockerung BWK 11

5.3.3.1 Zugangsweg

Operativ galt es zwischen dem modernen Mini open Zugang und der klassisch offenen Thorako- bzw. Lumbotomie (Tab.5) zu unterscheiden. Aktuell wird am UKJ bis auf wenige Ausnahmen mithilfe des minimalinvasiveren Zugangsweges gearbeitet. Allerdings ließ sich in der Studie kein signifikanter Unterschied ($p = 0,55$) bzgl. des gewählten operativen Zugangsweges und der Komplikationen im Allgemeinen nachweisen.

Als Komplikationen wurden lediglich erneute Eingriffe aufgrund von veränderter Schraubenlage, Wundheilungsstörungen oder Revisionen bei Anschlussfrakturen einbezogen.

			Komplikationen		Gesamt
			Nein	Ja	
Mini- open	Nein	Anzahl n	81	18	99
		Anzahl in %	81,8%	18,2%	100,0%
	Ja	Anzahl n	16	3	19
		Anzahl in %	84,2%	15,8%	100,0%
Gesamt		Anzahl n	97	21	118
		Anzahl in %	82,2%	17,8%	100,0%

Tab.5: Anzahl (n) der Komplikationen in Abhängigkeit von der gewählten Zugangsmethode

Die nachfolgende Kreuztabelle (Tab.6) zeigt einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen dem operativen Zugangsweg (klassisch, thorakal vs. lumbal) und möglicherweise aufgetretenen Komplikationen ($p \leq 0,05$). So besteht bei einer Lumbotomie eine 2,85-fach erhöhte Chance (Odds Ratio) für das Auftreten einer Komplikation jeglicher Art gegenüber einer Thorakotomie.

Nicht zuletzt muss auch hier die Übertragbarkeit der Signifikanz auf die Allgemeinheit bei eingeschränktem Stichprobenumfang kritisch betrachtet werden.

			Komplikationen		Gesamt
			Nein	Ja	
OP Zugang	Thorakotomie	Anzahl n	76	12	88
		Anzahl in %	86,4%	13,6%	100,0%
	Lumbotomie	Anzahl n	20	9	29
		Anzahl in %	69,0%	31,0%	100,0%
Gesamt		Anzahl n	96	21	117
		Anzahl in %	82,1%	17,9%	100,0%

Tab.6: Anzahl (n) der Komplikationen bei klassischer Thorako- und Lumbotomie

5.3.3.2 Cage-Sinterungen

Bei insgesamt 55 Patienten (44,7%) kam es im Verlauf des Nachbeobachtungszeitraumes zu Sinterungen und/oder begleitend Verkippungen des Cages in die benachbarten Wirbelkörper (Tab.7).

Anhand der Cobb Methode bestimmt man eine Sinterung anhand der Längsachse des Käfigs, eine Verkippung misst den Winkel zwischen der Käfigachse und der unteren Endplatte des kaudalen intakten Wirbels, so wie in der Abb. 38 dargestellt. Mit 50,9% ($n = 28$) bildete der jeweilige Einbruch in die Deckplatte des kaudal gelegenen Wirbelkörpers die Mehrzahl.

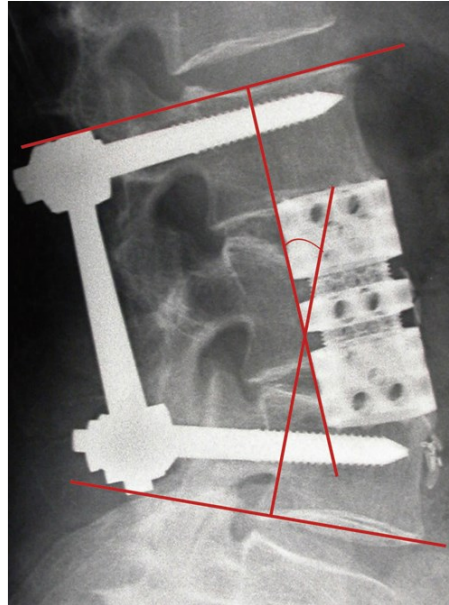


Abb.38: Bestimmung der Sinterung anhand der Cobb Methode mit Hilfe der Längsachse des Käfigs. Eine Verkippung misst den Winkel zwischen der Käfigachse und der unteren Endplatte des kaudalen intakten Wirbels.

		Häufigkeit (n)	Prozent (%)	Gültige Prozente
Gültig	1. Grundplatte	6	4,9	10,9
	2. Deckplatte	28	22,8	50,9
	3. Grund- und Deckplatte	21	17,1	38,2
	4. Gesamt	55	44,7	100,0
Fehlend	System	68	55,3	
Gesamt		123	100,0	

Tab.7: Anzahl (n) der Wirbelkörpersinterungen und -einbrüche

Statistisch konnte man keine Signifikanz zwischen der Größe des eingesetzten Cages und nachfolgend beobachteten Einbrüchen in angrenzende Wirbelkörper feststellen. Dieses Ergebnis ergab sich unabhängig von der Höhe ($p = 0,50$) bzw. Breite ($p = 0,51$) des eingesetzten Materials.

Am häufigsten zeigten sich Einbrüche in die angrenzende Deckplatte der unterhalb der Spondylodese gelegenen Wirbelkörper (n = 29, 52,7%). Bei den Patienten, welche lediglich 2 Segmente fusioniert bekamen, ergaben sich insgesamt 38 (69,1%) Sinterungen/Verkippungen, wohingegen 30,9 % (n = 17) auf die Patienten entfielen welche eine Fusionierung von ≥ 2 Segmenten erhielten.

Dass zwischen der Anzahl der versorgten Segmente und anschließenden Einbrüchen in angrenzende Wirbelkörper möglicherweise ein Zusammenhang besteht, konnte im Man Whitney Test ebenfalls nicht bestätigt werden (p = 0,84).

5.3.3.3 Anschlussfrakturen

Eine der dokumentierten Komplikationen im Follow up waren die Anschlussfrakturen (Tab.8). Jedoch zeigten sich diese bei lediglich 4,9% (n = 6) der in die Studie eingeschlossenen Patienten, die ein Nachbeobachtungszeitraum von mindestens 6 Monaten aufwiesen.

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültig	Nein	117	95,1	95,1
	Ja	6	4,9	4,9
	Gesamt	123	100,0	100,0

Tab.8: Anzahl (n) der Anschlussfrakturen

Von diesen 4,9% traten 3 Frakturen (2,4%) oberhalb der Spondylodese und 2 (1,6%) unterhalb der selbigen auf. Bei einem Patienten (0,8%) zeigte sich sowohl ober- als auch unterhalb der erfolgten Spondylodese eine stattgehabte Fraktur des Wirbelkörpers (Tab.9).

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültig	oberhalb	3	2,4	50,0
	unterhalb	2	1,6	33,3
	ober- und unterhalb	1	0,8	16,7
	Gesamt	6	4,9	100,0
Fehlend	System	117	95,1	
Gesamt		123	100,0	

Tab.9: Anzahl (n) der Anschlussfrakturen in Abhängigkeit von ihrer Lage bezüglich der Spondylodese

In der Nachbeobachtungszeit und beim Betrachten der Anschlussfrakturen konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Anzahl der intraoperativ versorgten Segmente und möglicherweise aufgetretenen Anschlussfrakturen nachgewiesen werden. Laut Mann-Whitney- Test zeigte sich ein p- Wert von 0,83 ($>0,05$). Dieser zeigt sich ähnlich im Vergleich zur Anzahl der Wirbelkörpersinterungen in Abh. von der Anzahl der versorgten Segmente ($p = 0,84$).

5.3.3.4 Reoperation

Insgesamt wurden bei 12,2% ($n = 15$) von 17,2% ($n = 21$), bei denen sich Komplikationen wie Anschlussfrakturen, Veränderungen der Schraubenlage und/oder Wundheilungsstörungen zeigten, ein erneuter operativer Eingriff vorgenommen. Bei den restlichen 4,9% ($n = 6$) war eine konservativer Therapie möglich (Tab.10).

Zu erwähnen ist hierbei, dass es sich in den meisten Fällen nicht um ein Implantatversagen o.Ä. handelte, sondern vorwiegend um Wundrevisionen bei gestörter Wundheilung.

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente
Gültig	Keine	102	82,9	82,9
	Operativ	9	7,3	7,3
	Konservativ	6	4,9	4,9
	Wundrevision	6	4,9	4,9
	Gesamt	123	100,0	100,0

Tab.10: Management der Patienten mit postoperativ aufgetretenen Komplikationen wie Wundheilungsstörungen, Anschlussfrakturen oder Veränderungen der Schraubenlage

5.3.3.5 Schmerzen

Anhand der visuellen Analogskala (VAS) wurden sowohl während des stationären Aufenthaltes Vorhandensein und Stärke der Schmerzen dokumentiert als auch nach Abschluss der Behandlung im Nachbeobachtungszeitraum.

Mittels Chi-Quadrat-Test konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen aufgetretenen Komplikationen jeglicher Art und postoperativ aufgetretenen Schmerzen ($p = 0.10$) erkannt werden.

Ebenfalls keine signifikante Korrelation mit ähnlichem p- Wert ($p = 0,8$) fand sich vergleichsweise zwischen dem gewählten operativen Zugang und postoperativen Schmerzen im Zugangsbereich. Verglichen wurde der moderne, minimalinvasive mini-open-Zugang (Tab. 11) mit der klassisch offenen Thorako- und Lumbotomie (Tab.12).

			Schmerzen im Zugangsbereich des ventralen Hautschnittes			Gesamt
			Nein	Ja	Unbekannt	
Mini- open	Nein	Anzahl	23	51	26	100
		% innerhalb von Mini-open	23,0%	51,0%	26,0%	100,0%
	Ja	Anzahl	9	6	7	22
		% innerhalb von Mini-open	40,9%	27,3%	31,8%	100,0%
Gesamt		Anzahl	32	57	33	122
		% innerhalb von Mini-open	26,2%	46,7%	27,0%	100,0%

Tab.11: Anzahl (n) der Patienten mit Schmerzen im operativen Zugangsbereich in Abh. vom Mini-open Zugangsweg

		Schmerzen im Zugangsbereich des ventralen Hautschnittes			Gesamt
		Nein	Ja	Unbekannt	
OP- Zugang	Thorakotomie	22	46	23	91
	Lumbotomie	9	11	10	30
Gesamt		31	57	33	121

Tab.12: Anzahl (n) der Patienten mit Schmerzen im operativen Zugangsbereich in Abh. von Thorako- bzw. Lumbotomie

Nach Operation erfolgte die Einstellung auf Analgetika mittels NSAR und Opioiden gemäß des WHO Stufenschemas. Nachfolgend, wie in Tab. 13 dargestellt, ließ sich kein Zusammenhang zwischen der Höhe des operativen Zugangsweges und der nötigen Schmerzmedikation bei Entlassung nachweisen.

OP_Zugang * Schmerzmedikation_Entlassung_WHO_Grad Kreuztabelle

		Schmerzmedikation_Entlassung_WHO_Grad			Gesamt
		keine Angabe	Grad 1	Grad 2	
OP_Zugang	Thorakotomie	Anzahl 62	6	13	81
		% innerhalb von OP_Zugang 76,50%	7,40%	16,00%	100,00%
OP_Zugang	Lumbotomie	Anzahl 22	2	3	27
		% innerhalb von OP_Zugang 81,50%	7,40%	11,10%	100,00%
Gesamt		Anzahl 84	8	16	108
		% innerhalb von OP_Zugang 77,80%	7,40%	14,80%	100,00%

Tab.13: Korrelation zwischen Schmerzmedikation bei Entlassung und gewähltem Zugangsweg

5.4 Fusion nach Schnake

Die Beurteilung der Fusion der Spondylodese erfolgte nach Schnake (Schnake et al. 2013). Anhand von Röntgen- oder CT-Bildern wurde die Fusion in 4 verschiedene Grade eingeteilt, wobei ein Grad 1 oder Grad 2 eine vollständige bzw. nahezu komplette knöcherne Durchbauung kennzeichnete.

Eine Grad 1 oder Grad 2 Fusion war bei 75 der 85 eingeschlossenen Patienten der Fall (88,2%) (Tab. 14).

		Häufigkeit (n)	Prozent	Gültige Prozente
Gültig	Grad 1	48	39,0	56,5
	Grad 2	27	22,0	31,8
	Grad 3	7	5,7	8,2
	Grad 4	3	2,4	3,5
	Gesamt	85	69,1	100,0
Fehlend	nicht beurteilbar	38	30,9	
Gesamt		123	100,0	

Tab.14: Häufigkeitsverteilung des Fusionsgrades nach Schnake

Nach Durchsichtung der Operationsberichte ließ sich bei 70 von 84 Fällen (83,3%) die Befüllung der Cages mit körpereigenem Knochen nachweisen.

Laut der statistischen Auswertung brachte bei diesem Patientenkollektiv das Einbringen von Spongiosa keinen signifikanten Vorteil gegenüber den anderen Patienten hinsichtlich der Fusion ($p = 0,79$).

Die Möglichkeit eine Fusion vom Grad 1 oder 2 zu erreichen ist beim Einbringen von Spongiosa um den Faktor 1,4 erhöht.

Die Fusion in Abhängigkeit von der Knochenbeschaffenheit soll im Abschnitt 5.5.3 noch genauer beleuchtet werden. Bezüglich des Zusammenhanges zwischen Fusion nach stattgehabter VLIFT® Implantation und knöcherner Beschaffenheit nach Spondylitis oder Tumor erfolgte keine Korrelationsberechnung, da diese Gruppe nur 4 Patienten des Gesamtkollektives misst.

5.5 Sonderstellung Osteoporose

Aufgrund einer immer älter werdenden Gesellschaft und des damit verbundenen steigenden Auftretens von Osteoporose bei operierten Patienten sollte diesem Aspekt eine gesonderte Stellung zuteil werden.

5.5.1 *Reposition*

Zunächst sollte geprüft werden, ob Zusammenhänge zwischen der Knochendichte und einem möglichem Repositionsverlust im Laufe des Nachbeobachtungszeitraumes bestehen.

Der t-Test für 2 unabhängige Stichproben entkräftet mit $p > 0,05$ diese Hypothese, dass ein signifikanter Unterschied zwischen den oben genannten Parametern besteht. Allerdings gilt hierbei zu beachten, dass Gruppe der Patienten mit bekannter Osteoporose und einem Repositionsverlust im Verlauf lediglich eine Person umfasst. Aus diesem Grund kann ein Zusammenhang zwischen der Knochendichte und dem Repositionsverlust nicht sicher ausgeschlossen werden und ist somit nur hinreichend valide.

Des Weiteren zeigten sich keine ausgreifenden Unterschiede zwischen den gemessenen Cobb-Winkeln und den einzelnen Gruppen, welche sich durch ihre Knochendichte unterscheiden ($p = 0,09$).

Wie in Abb. 39 dargestellt, kommt es unabhängig von dem Vorhandensein einer Osteopenie oder Osteoporose zu einem annähernd ähnlichen Verlauf. Die Gerade beschreibt zunächst eine Verbesserung der präoperativen Kyphose, wohingegen im Nachbeobachtungszeitraum durch z.B. Sinterungen eine erneute Zunahme der Kyphose zu verzeichnen ist.

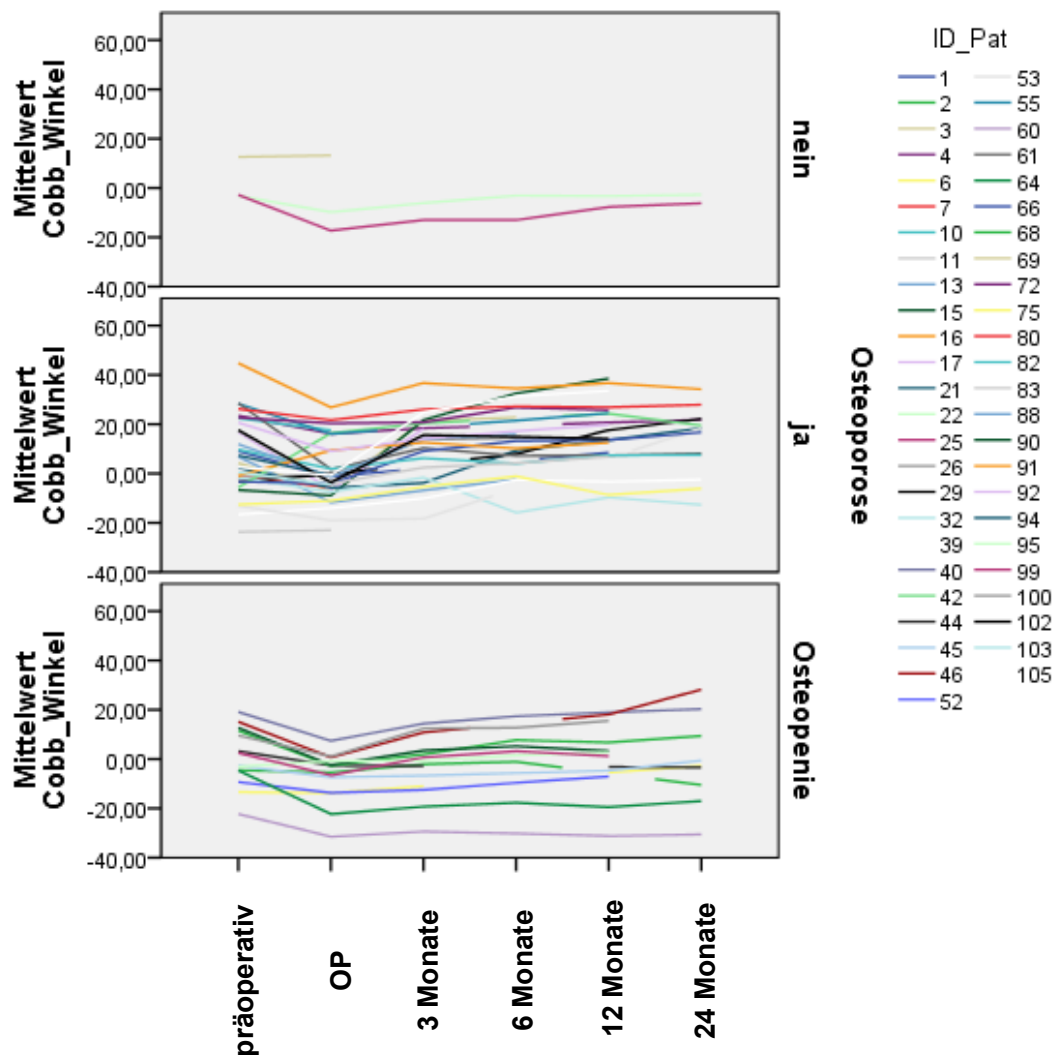


Abb.39: Verlauf der Cobb Winkel in Abhängigkeit von der Knochendichte

5.5.2 Veränderung der Schraubenlage

Eine mögliche Komplikation im postoperativen Setting ist die Lageveränderung der intraoperativ eingebrachten Schrauben.

Nachfolgend sollte u.a. die Abhängigkeit einer solchen Komplikation im Zusammenhang mit der Knochenqualität betrachtet werden (Tab.15).

Laut Chi² Test konnte keine statistische Signifikanz zwischen der Knochenqualität und einer postoperativen Lageveränderung der Schrauben festgestellt werden ($p = 0,08$).

Allerdings ist bei einer Signifikanz von $p < 0,1$ eine Tendenz zu sehen, dass mit abnehmender Knochendichte das Risiko einer Lageveränderung der eingebrachten Schrauben steigt.

			Veränderung der Schraubenlage		Gesamt
			Nein	Ja	
Osteoporose	Nein	Anzahl	3	0	3
		% innerhalb von Osteoporose	100,0%	0,0%	100,0%
	Ja	Anzahl	17	15	32
		% innerhalb von Osteoporose	53,1%	46,9%	100,0%
	Osteopenie	Anzahl	12	3	15
		% innerhalb von Osteoporose	80,0%	20,0%	100,0%
Gesamt		Anzahl	32	18	50
		% innerhalb von Osteoporose	64,0%	36,0%	100,0%

Tab.15: Schraubendislokation postoperativ in Abhängigkeit von der Knochendichte

Bei einer errechneten Odds Ratio (OR) von 3,5 besteht für Patienten mit einer manifesten Osteoporose demzufolge ein 3,5-fach erhöhtes Risiko für eine Lageänderung der perioperativ eingebrachten Schrauben als bei Patienten mit lediglich verminderter Knochendichte (Osteopenie).

Bei der Berechnung wurde nicht zwischen zementierten und nicht zementierten Schrauben differenziert.

5.5.3 Fusion nach Schnake

Beim Prüfen eines statistischen Zusammenhangs zwischen der Knochendichte und des Fusionsgrades nach Schnake zeigte sich mit p- Werten über 0,05 keine nachweisbare Signifikanz. Dabei spielt es hierbei keine Rolle, ob lediglich von einer verminderten Knochendichte im Sinne einer Osteopenie ($p = 0,26$) oder einer manifesten Osteoporose ($p = 0,25$) die Rede ist.

Betrachtet wurde hierbei nur eine vollständige Fusion, entsprechend Grad 1 nach Schnake. Generell zeigten 8 Patienten (53,3%) mit nachgewiesener Osteopenie eine vollständige Fusion und 15 Patienten mit Osteoporose (41,7%) (Tab.16).

	Osteoporose	Osteopenie
Fusion nach Schnake	15/36 Patienten	8/15 Patienten
Grad I	41,7 %	53,3 %

Tab.16: Fusion nach Schnake in Abhängigkeit von der Knochendichte

6 Diskussion

Wirbelkörperfrakturen sind ein häufiges Krankheitsbild mit unterschiedlichster Pathogenese. Mit dieser Arbeit sollte ein Überblick über die von 2009- 2013 am UKJ versorgten Wirbelkörperfrakturen, die mittels einer dorsoventralen Stabilisierung operiert wurden, und deren Follow up erstellt werden. Hierbei galt es neben den Faktoren wie Demografie des Patientenkollektives, Frakturursache und – einteilung auch die operativen Methoden mit deren Komplikationen zu beleuchten.

Die zur Verfügung stehenden Operationsmethoden sind erprobt und haben im medizinischen Alltag einen festen Stellenwert. Es sollte untersucht werden, ob es dennoch Unterschiede von minimal invasiv gewählten Zugangswegen gegenüber der klassisch offenen Thorako- oder Lumbotomie gab und ob die Größe des intraoperativ eingebrachten VLIFT®- Cages eine Rolle spielte.

Einen gesonderten Stellenwert sollte die Knochendichte einnehmen. Die Osteoporose als Volkskrankheit spielt in einer immer älter werdenden Bevölkerung mit zunehmend demografischer Umverteilung eine bedeutende Rolle (Aspray und Hill 2019). Die Studie sollte zeigen, ob bei Patienten mit verminderter Knochenqualität häufiger Komplikationen wie Anschlussfrakturen oder Lageänderungen der perioperativ eingebrachten Schrauben auftraten und ob die Chance auf eine knöcherne Fusion geringer war als bei Patienten mit guter Knochenqualität.

6.1 Vergleich der erhobenen Daten mit anderen Studien

6.1.1 *Patientenkollektiv*

In der hiesigen Datenerhebung lag der Altersmedian bei ca. 53 Jahren bei einer Geschlechterverteilung zugunsten der Männer. Mit 31,7% stellten die Frauen lediglich ca. 1/3 des Stichprobenumfangs.

Zwar zeigte unser durchschnittlich erhobener BMI noch Normalgewicht, befand sich aber mit 24,9 kg/m² an der Grenze zum Übergewicht.

Eine Studie des Robert Koch-Institutes (Mensink et al. 2013)(Abb.40) zeigt, dass bereits zwei Drittel der Männer (67 %) und die Hälfte der Frauen (53 %) in Deutschland an Übergewicht leiden. Ein Viertel der Erwachsenen (23 % der Männer und 24 % der Frauen) ist sogar adipös mit einem BMI von ≥ 30 .

Vergleichsweise zu Arbeiten ähnlichen Studiendesigns war hier ein relativ großes Patientenkollektiv gemessen worden.

In der Studie von Gradl (Gradl 2006) beispielsweise wurden 89 Patienten nach dorsoventraler Stabilisation bei Berstungsfrakturen im thorakolumbalen Bereich evaluiert. Sie beinhalten nebenbei auch Fälle von Tumorerkrankungen und Spondylitiden.

Been et al (Been und Bouma 1999) untersuchten in einer vergleichenden Studie insgesamt 46 Patienten mit thorakolumbalen Berstungsfrakturen, von denen 27 durch eine kombinierte Vorgehensweise stabilisiert worden waren.

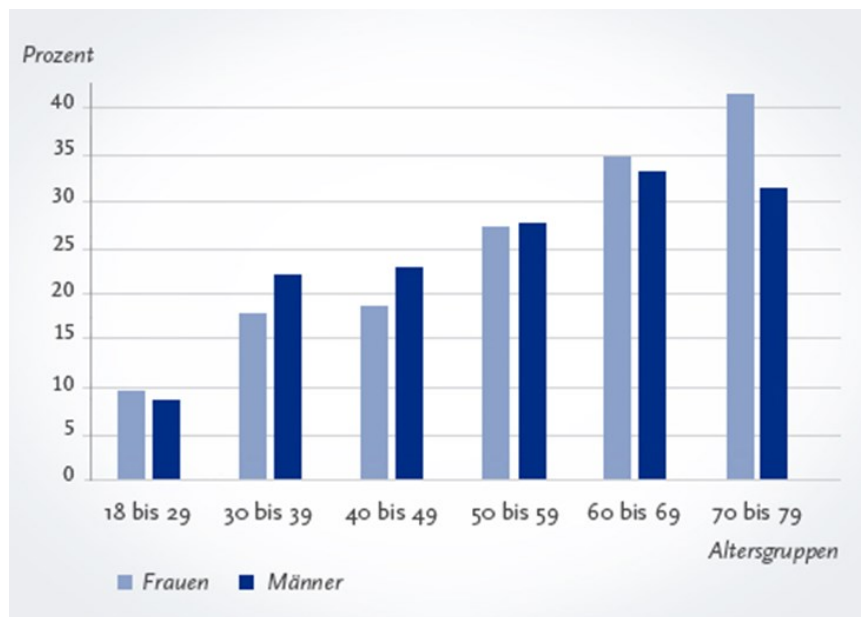


Abb.40: Männer und Frauen mit Adipositas (BMI \geq 30) in Deutschland - Anteile an der gleichaltrigen Bevölkerung Quelle: © Robert Koch-Institut 2014, Studie DEGS1, Erhebung 2008–2011

6.1.2 *Frakturursachen und Frakturlokalisationen*

Bei den im o.g. Zeitraum am UKJ operierten Patienten zeigte sich eine erhöhte Tendenz für Frakturen im LWK-Bereich mit 62,6% gegenüber BWK-Frakturen. Mit 32,5% entfielen die Brüche auf den 1. LWK. Zudem wurde bei insgesamt 67 von 105 Patienten ein Frakturtyp der Klasse A3 nach Magerl (entsprechend A3/A4 nach der AO Spine Klassifikation) dokumentiert.

In vergleichbaren Studien zeigt sich ebenso bei Wirbelkörperfrakturen eine Häufung von Frakturen im thorakolumbalen Übergang (Kaneda et al. 1997, Knop et al. 2009, Briem et al. 2003).

Neben traumatischen Frakturen reicht die Indikation über Tumorleiden bis hin zu Spondylitiden. Die Traumata, die zu solchen Verletzungen führen, sind meist das Resultat aus

großen Kräften, welche auf den jeweiligen Körper einwirken. Hervorgerufen werden diese meist bei Verkehrsunfällen oder Arbeitsunfällen im handwerklichen Gewerbe.

Knochenmetastasen finden sich vor allem bei Brust- oder Prostatakrebs. Nebenher spielen auch Primärtumore der Lunge, Niere oder Schilddrüse eine große Rolle (Barnes et al. 2016). Das in der heutigen Gesellschaft durchaus nicht seltene Vorkommen von Knochenmetastasen lässt sich mit der hohen Inzidenz von Prostatakarzinomen bei Männern und Mammakarzinomen bei Frauen in der westlichen Gesellschaft erklären. Über den Blutstrom gelangen diese Absiedelungen der so genannten Primärtumore in die Knochen. Dort können sich die Tumorzellen festsetzen und sich zu Tochtergeschwülsten entwickeln. Neben dem Becken und den Rippen als Manifestationsort ist die Wirbelsäule mit am häufigsten betroffen Schnake et al fand in einer Studie eine Frakturbeteiligung von 54% bezogen auf den BWK 12 und LWK 1 (Schnake et al. 2013). Davon führten zu 54% Unfälle im Haushalt, gefolgt von 26% im Straßenverkehr, 11% entfielen auf Suizidversuche, wohingegen 9% bei der Arbeit passierten. Die eigens erhobenen Daten zeigte bei traumatologisch bedingten Frakturen eine klare Mehrheit, gefolgt von der Osteoporose und den Minderheiten wie Spondylitiden oder Tumorleiden.

Dass Frakturen besonders gerne im thorakolumbalen Bereich auftreten, hängt mit der physiologischen Wirbelsäulenkrümmung und dem Übergang von Kyphose zu Lordose zusammen. Demzufolge spielt sich hier der Wechsel zwischen stark beweglichem und starrem Wirbelsäulensegment ab (Criscitiello und Fredrickson 1997).

6.1.3 Operation

Alle der 123 in die Studie eingeschlossenen Patienten erhielten eine Versorgung mittels VLIFT® Cage. Von sechs möglichen zur Verfügung stehenden Cages unterschiedlichen Ausmaßes wurden mehr als 50% der Patienten mit den jeweiligen Größen von 18x32mm (38,2%, n = 47) bzw. 18x25mm (25,2%, n = 31) versorgt.

Je nach Frakturtyp erfolgte die alleinige ventrale Stabilisierung oder die kombinierte dorsoventrale Versorgung.

Neben dem physiologischen Wechsel von lordotischen mit kyphotischen Krümmungen führt eine übermäßige Formveränderungen durch Frakturen zu einem Ungleichgewicht der gesamten Statik mit daraus resultierenden Schmerzen und Haltungsanomalien (Roussouly und Nnadi 2010).

Auch Schulz et al (Schulz et al. 2014) konnten einen signifikanten Zusammenhang zwischen Schmerzen und dem Kyphosewinkel feststellen. In ihrer Studie untersuchten sie 94 Patienten mit thorakolumbalen A-, B-, oder C-Frakturen nach Magerl, die mittels 360° Instrumentation versorgt wurden. Von diesen 94 Patienten wiesen 50 eine A3 Fraktur auf.

Während einige Autoren eine konservative Therapie bei stabilen A3 Frakturen als Behandlungsoption empfehlen (Scheiderer und Gruber 2008), vertreten andere die Meinung einer individuellen Entscheidung je nach Klinik und Radiologie (Verheyden et al. 2018).

Andere Studien (Tasdemiroglu und Tibbs 1995) postulieren eine alleinige dorsale Versorgung als ausreichend stabil, jedoch bei einem inhomogenen Patientenkollektiv, welches vorwiegend Frakturtypen niedrigerer Klassifikation beinhaltet.

Aktuell führt neben der Empfehlung der kombinierten Versorgung (Knop et al. 2001) der Trend zunehmend zur Verwendung expandierbarer Cages, welche häufig ein besseres und klinisches Outcome liefern und auch endoskopisch in einer kürzeren Gesamtdauer implantierbar sind. Zudem erweist sich die ventrale Stabilisierung mittels Cage gegenüber der autologen Beckenkammtransplantation als vorteilhaft. Neben der Morbidität der Spenderstelle beschreiben auch Sattler et al (Sattler et al. 2007) ein höheres Risiko für Pseudarthrosen und womöglich ungenügende biomechanische Eigenschaften im Sinne geringerer Stabilität bei der Verwendung eines biologischen Transplantates. Trotzdem bergen expandierbare Cages aufgrund ihrer in Situ Distraction auch das Risiko einer Overdistraction (Schnake et al. 2014).

6.1.4 Reposition

Ziel der operativen Versorgung war eine Verbesserung der kyphotischen Fehlstellung.

Die Messung des Alignements in dieser Arbeit erfolgte mittels des Cobb-Winkels.

Die größte Differenz zeigte sich hierbei zwischen dem präoperativen und dem direkt postoperativem Zeitpunkt.

Eine graphische Darstellung veranschaulicht jedoch einen annähernd linearen Verlauf, sodass man kaum von einem bedeutendem Repositionsgewinn bzw. -verlust im Follow up sprechen kann.

Im Median wurde ein Repositionsgewinn von 6,2° erreicht, wobei in 50% der Fälle Werte zwischen 2,2 und 12,6° zu verzeichnen waren.

Nicht immer konnte jedoch das Ziel der Lordosierung aufgrund schwieriger präoperativer Ausgangsbedingungen erreicht werden.

Die Minderheit der 123 Patienten wies postoperativ einen Repositionsverlust auf, welcher im Mittel bei 2,9° lag.

Prinzipiell ist die Bestimmung des Grund-Deckplattenwinkels (GDW) durch digitale bzw. zeichnerische Winkelmessung per Hand eine allgemein akzeptierte Methode zur Verlaufsbeurteilung einer zunehmenden segmentalen Kyphosierung (Stauffer und Coventry 1972, Knop et al. 2001, Ray 1997, Briem et al. 2003, Vieweg et al. 2003).

Durch die Cobb Methode in der lateralen Ansicht erfolgt die Winkelbestimmung zwischen der oberen Endplatte des kranialen intakten Wirbels und der unteren Endplatte des intakten kaudalen Wirbels (Schnake et al. 2014).

Generell liegen die Werte für den postoperativen Korrekturverlust, also der Zunahme des GDW, bei alleinig dorsalen Operationen je nach Studie zwischen $4,2^\circ$ und $8,5^\circ$ (Lindsey und Dick 1991, Knop et al. 2001).

So beobachteten Reinhold et al. (Reinhold et al. 2009a) einen Korrekturgewinn von durchschnittlich $9,5^\circ$ in der Gruppe mit kombiniert versorgten thorakolumbalen Verletzungen (A, B und C-Frakturen nach AO- Klassifikation). Der anschließende Korrekturverlust lag bei durchschnittlich $3,6^\circ$. Um den sekundären Verlust möglichst gering zu halten, wird derzeit eine kombinierte Versorgung aus anteriorem Wirbelkörperersatz mit dorsal transpedikulärer Stabilisation mittels Fixateur interne empfohlen (Sattler et al. 2007). Mit einem durchschnittlichen Repositionsgewinn von $6,2^\circ$ zeigen die Ergebnisse zwar einen schlechteren Wert, bei jedoch nicht immer kombiniert erfolgter Versorgung. Und oft wird gerade durch eine initiale Fixateur interne Versorgung die größte Reposition erreicht.

Been et al (Been und Bouma 1999) verglichen in ihrer Studie ein rein dorsales Vorgehen mit der dorsoventralen Vorgehensweise für Frakturen im thorakolumbalen Bereich. Jedoch waren nur 26% der Frakturen der untersuchten Patienten Typ A-Frakturen. Dabei stellten sie bei 68% der dorsal stabilisierten Patientengruppe einen Korrekturverlust von mehr als 5° fest, wobei dies nur bei 7% der kombiniert behandelten Personen zu beobachten war. Der Korrekturverlust in der kombinierten Gruppe betrug durchschnittlich $2,1^\circ$.

Aus diesem Grund kommt die multizentrische Studie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) zu dem Ergebnis, dass mit der dorsalen Technik allein kein sicherer Gewinn gegenüber der kyphotischen Fehlstellung zu erzielen ist (Knop et al. 2001).

In der multizentrischen Studie der DGU bezüglich verschiedener Stabilisierungsverfahren konnte eindeutig eine Abhängigkeit des Repositionsverlustes von der vorher erfolgten Korrektur der kyphotischen Fehlstellung nachgewiesen werden. So besteht bei Eingriffen mit großer Korrektur auch die Gefahr eines großen Repositionsverlustes (Zucherman et al. 2005).

Nachweislich besteht jedoch kein Zusammenhang zwischen den radiologischen Ergebnissen und der Lebensqualität, insbesondere zwischen einem Korrekturverlust und auftretender Schmerzen (Briem et al. 2003).

Trotz dokumentierter Sinterungen und Kippungen konnte auch hier kein signifikanter Zusammenhang zwischen Schmerzen und Komplikationen jeglicher Art nachgewiesen werden.

In den Nachuntersuchungen bezüglich einer zunehmenden Kyphosierung nach kombiniert dorsoventraler Versorgung zeigten sich mit einem durchschnittlichen Korrekturverlust von $2,4^\circ$ nach 12 Monaten im Vergleich zu anderen Untersuchungen ähnliche Ergebnisse (Dudeney et al. 2002, Vieweg et al. 2003, Briem et al. 2003, Been und Bouma 1999). Dabei brachte das zusätzliche Versorgen mittels ventraler Platte keinen nachweislichen Vorteil (Schnake et al. 2013).

Lediglich in sehr kleinen Kollektiven mit 12 bzw. 20 Patienten konnte über einen Beobachtungszeitraum von nur durchschnittlich 10 Monaten ein Korrekturverlust von 2° bzw. 4° bei ventraler Versorgung festgestellt werden (Olerud et al. 1988, Wawro et al. 1994). Vergleichsweise dazu zeigen die Ergebnisse dieser Studie bei einem durchschnittlichen Follow up von 12 Monaten Werte von $2,9^\circ$ im Median.

Im Vergleich zu dem ebenfalls distrahierbaren Wirbelkörperersatzsystem Synex® (Fa. Synthes, Umkirch, Deutschland) zeigt sich ein ähnliches Ergebnis.

Hier betrug der durchschnittliche Repositionsverlust nach 14 Monaten bei 30 Patienten $1,6^\circ$ (Vieweg et al. 2003).

Im Gegensatz dazu steht eine Arbeit von Wood et al (Wood et al. 2003), die in einer prospektiven Studie konservativ mit operativ versorgten Patienten (posterolateral oder anterior mit autologem Knochenspan) mit Berstungsfrakturen im thorakolumbalen Wirbelsäulenabschnitt verglich. Die Autoren fanden keinen signifikanten Unterschied bezüglich Kyphosewinkel zum Zeitpunkt der letzten Nachuntersuchung (mind. 2 Jahre nach dem Unfallereignis, durchschnittlich 44 Monate). In der operativen Gruppe betrug der Winkel 13° , in der konservativen $13,8^\circ$.

6.1.5 Komplikationen

In 44,7% der Fälle zeigten sich Sinterungen und/oder Verkippungen des eingebrachten Materials. Davon bezog sich mit 50,9% die Mehrheit auf Deckplattenimpressionen des kaudal liegenden Wirbelkörpers.

Ein sehr ähnlicher Wert der Cagemigration ergibt sich aus einer Studie von Schnake et al (Schnake et al. 2013), in der ein Einsinken von durchschnittlich 4 mm beobachtet wurde (2,1 mm in den oben angrenzenden Wirbelkörper, 1,9 mm in den unteren). Nebenher war eine Verkippung von 1,5° in der Frontalebene zu verzeichnen.

Sinterungen der eingebrachten Cages sind u.a. durch die präoperative Beschaffenheit der Knochenqualität bedingt. Bei verminderter Knochenqualität, z.B. durch Osteopenie oder gar Osteoporose, sowie durch Metastasen bei bekanntem Tumorleiden kommt es leichter zu nachfolgenden Implantatdislokationen (Hoffmann et al. 2013). In dieser Arbeit zeigten sich mit 50,9% und somit der knappen Mehrheit der Fälle ein Einbruch in die angrenzende Deckplatte des kaudal gelegenen Wirbelkörpers.

Dieser Sachverhalt lässt sich durch die beim aufrechten Gang besonders auf die Wirbelsäule einwirkende axiale (kaudal gerichtete) Längskraft erklären (Niethard und Pfeil 2005).

Zum anderen existieren die dem Körpergewicht entgegenwirkenden Muskel- Band- Kräfte. Diese werden als nach ventral gerichtete Schubkraft von den Wirbelbogengelenken, dem Bandapparat und den Zwischenwirbelscheiben (Bandscheiben) aufgenommen. Besonders hoch sind diese Kräfte am thorakolumbalen Übergang und werden durch eine verstärkte Lordose noch zusätzlich gesteigert (Niethard und Pfeil 2005).

Bei den Patienten der vorliegenden Studie wurden keine schwerwiegenden Komplikationen beobachtet, die spezifisch auf die Versorgungsart der 360° Stabilisation zurückzuführen waren. Zwar kam es zu Wundrevisionen durch möglicherweise Infektionen, dieses Problem lässt sich aber auch bei rein dorsalen Vorgehen beobachten (Beisse 2006) (Glassman et al. 2000). Neben den Sekundärinfektionen spielen Begleitkomorbiditäten, wie der Diabetes mellitus, eine große Rolle bei Wundheilungsstörungen. Jener zählt mittlerweile zu einer Volkskrankheit in der industrialisierten westlichen Gesellschaft.

Ebenso zeigen sich bei Reinhold et al (Reinhold et al. 2009a) von den 2,8% operativen Reeingriffen Wundrevisionen neben Implantatdislokationen als häufige Ursache.

Von den 123 Patienten des UKJ traten bei 17,2 % Komplikationen auf, wovon 12,2% operativ versorgt wurden. Hiervon entsprach ein Großteil erfolgten Wundrevisionen. Um Risiken wie diese durch beispielsweise ein begleitend großes Zugangstrauma zu reduzieren, wird am UKJ zunehmend minimalinvasiv operiert.

In der Studie von Reinhold et al. (Reinhold et al. 2009a) ereigneten sich in 7,4% aller Fälle Komplikationen im thorakolumbalen Übergang. Dieses Ergebnis schließt jedoch alle Behandlungsarten mit ein. Ein Großteil der Komplikationen betraf die isoliert dorsal

behandelte Gruppe. Es kam unter anderem zu Infektionen, Schraubenfehlagerungen und -brüchen mit nachfolgenden Korrekturverlusten und Fehlstellungen.

Bei insgesamt 9,7% der konservativ behandelten Patienten war eine sekundäre operative Behandlung erforderlich.

Von den 123 Patienten, welche im Zeitraum von 2009 - 2013 am UKJ behandelt wurden, kam es im Follow up bei 6 Patienten (4,9%) zu Anschlussfrakturen. Begünstigend hierfür können eine verminderte Knochenqualität als auch bereits stattgefundene Sinterungen oder Verkippungen sein.

Es zeigt sich in der hiesigen Studie kein Zusammenhang zwischen operativem Zugangsweg und der Analgetikaeinnahme aufgrund von Schmerzen zum Zeitpunkt der Entlassung. Schlussfolgernd spielt auch unabhängig von der Höhe des versorgten Wirbelkörpers, das initiale Trauma an sich eine entscheidende Rolle.

Jedoch kam es in anderen Studien mit 26% bei einer Thorakotomie zu einer erhöhten Komplikationsrate. Möglicherweise lässt sich dies durch die Notwendigkeit der Pleuraeröffnung erklären. Trotz einer hohen Zufriedenheitsgarantie der Patienten kann postoperativ ein Postthorakotomiesyndrom entstehen (Schnake et al. 2014).

In einer anderen Studie von Schnake et al (Schnake et al. 2014) zeigten sich bei einer Komplikationsrate von 26,25% bei Thorakotomie 18,75% mit transienten pulmonalen Komplikationen und 1,25% mussten aufgrund der Bildung eines thorakalen Seroms revidiert werden.

Andere Zwischenfälle entfielen auf eine Schädigung des N.phrenicus nach erfolgter Diaphragma-Spaltung, rezidivierende Pleuraergüsse oder einem verlängerten postoperativen Weaning.

Neben diesen speziellen Komplikationen wurden auch Fälle von tiefen Beinvenenthrombosen, einem hohen Transfusionsbedarf bei großem Blutverlust, stressbedingte Ulzera und Gastritiden, perioperative Herzrhythmusstörungen, Verschlechterungen der Nierenretentionsparameter oder Pneumonien dokumentiert.

6.1.6 Fusion

Betrachtet man die Literatur bezüglich der verschiedenen interkorporellen Spondylodeseverfahren, so werden je nach Autor verschiedene radiologische Kriterien genannt, bei deren Vorliegen man von einer knöchernen Fusion spricht (Kim et al. 2009)

Die Fusion als dynamischer Prozess sollte die Integrität des operativ eingebrachten Materials im Verlauf darstellen. Dabei wurde in einer Vielzahl von Studien lediglich zwischen fusioniert und nicht fusioniert differenziert (McAfee 1999, Kant et al. 1995, Blumenthal und Gill 1993, Vieweg et al. 2003, Been und Bouma 1999, Kaneda et al. 1997).

Leider lassen sich dadurch nicht immer alle Ergebnisse zuordnen. Aufgrund dessen erfolgte in dieser Arbeit die Beurteilung anhand der standardisierten Fusionskriterien nach Schnake, welche die Differenzierung zwischen 4 verschiedenen Fusionsstufen erlauben.

Dabei wird das Vorliegen einer stabilen Spondylodese vom Vorhandensein einer sichtbaren knöchernen Durchbauung im Cage oder einer durchgehenden Spange um das Implantat herum abhängig gemacht (McAfee 1999, Stauffer und Coventry 1972).

Weiterhin sind das Fehlen osteolytischer Säume um das Implantat sowie eine Stabilität in den Funktionsaufnahmen, d.h. einem GDW von maximal 3° Differenz in den Flexions- und Extensionsaufnahmen, von Bedeutung.

Ebenso kommen unterschiedliche radiologische Verfahren zur Beurteilung einer Fusion zum Einsatz, wobei die Computertomographie aufgrund hoher räumlicher Auflösung und guter Kontrastdarstellung als Methode der Wahl bzw. zuverlässigstes radiologisches Verfahren zur Beurteilung einer knöchernen Fusion gilt (Coughlan 1986, Brodsky et al. 1991, Rothman und Glenn 1985).

Vorteile der Computertomographie sind die bessere Darstellung knöcherner Substanz im und außerhalb des Implantats und ein früheres Erkennen eventueller Lysezeichen (Shah et al. 2003).

Die hohe Aussagekraft computertomographischer Befunde konnte durch vergleichende chirurgische Explorationen bestätigt werden (Ray 1997, Boden et al. 1998, Cunningham et al. 1999).

Jedoch schränkt die Verwendung von Metallimplantaten computertomographische Untersuchungen zur Objektivierung einer knöchernen Fusion durch Überlagerungen und Überstrahlungsartefakte aufgrund der hohen Dichte der Titanlegierung ein. Dies wurde auch von anderen Autoren beschrieben (Ray 1997, Eck et al. 2000).

Das Röntgen stellt trotz der eingeschränkten Beurteilbarkeit immer noch eine weit verbreitete Methode zur Quantifizierung der Fusion dar.

Es konnte gezeigt werden, dass bei 20 % der mittels konventionellen Röntgenbildern untersuchten Patienten der erreichte Fusionsgrad zu niedrig beurteilt wurde. Als eine Ursache hierfür nimmt man den noch nicht ausreichend mineralisierten und somit radiologisch nicht bildgebenden Knochen an (Blumenthal und Gill 1993).

In der Literatur werden Fusionsraten für kombinierte dorsoventrale Stabilisierungsverfahren nach Fraktur der Brust- oder Lendenwirbelsäule zwischen 77% und 100 % angegeben (Briem et al. 2003, Defino und Canto 2007, Vieweg et al. 2003, Kaneda et al. 1997). Ähnlich wie in der vorliegenden Arbeit, welche eine Fusion von Grad I und II nach Schnake bei 88,2% nachwies.

Als problematisch erweist sich die Vergleichbarkeit der einzelnen Studien untereinander. Ursache dafür sind unterschiedliche Nachuntersuchungszeiträume, die Anwendung verschiedener Fusionskriterien sowie die ebenfalls unterschiedlich angewandten radiologischen Verfahren zur Beurteilung der knöchernen Fusion.

Bei Schnake et al (Schnake et al. 2013) wiesen 26% der untersuchten Patienten nach thorakolumbalen Wirbelsäulenfrakturen 12 Monate nach einer dorsoventralen Stabilisation in CT-Aufnahmen eine komplette knöcherne Fusion auf. Bei 31% fand sich eine inkomplette Fusion.

In einer weiteren Studie konnten Schnake et al (Schnake et al. 2014) bei Patienten nach thorakolumbalen Frakturen aller 3 Frakturklassen 5 Jahre nach der dorsoventralen Stabilisation in 91% der Fälle in CT-Aufnahmen eine knöcherne Fusion beobachten. Bei den übrigen Patienten zeigte sich zwar keine komplette Fusion, allerdings fanden sich auch keine Hinweise auf eine Instabilität.

Lange et al (Lange et al. 2007) konnten in einem Patientenkollektiv, welches neben Frakturen aller Subklassen auch Tumore und Spondylitiden einschloss, nativradiologisch eine Fusionsrate von 83% nach durchschnittlich 12 Monaten beobachten.

Eine andere Kohortenstudie mit insgesamt 2662 Patienten beobachtete in einem durchschnittlich 12 monatigen Follow up Patienten, welche nach primärer oder sekundärer Wirbelsäuleninfektion allein eine Dekompression bzw. in Kombination mit einer Fusion erhielten.

Insgesamt zeigte sich in der Gruppe mit Fusion ein deutlich besseres Outcome.

(Reoperationen: 8,2% vs. 12,7% bei den alleinig mittels Dekompression versorgten Patienten, 16,5% Komplikationen vs. 24,6% und nur 4% Rehospitalisierung gegenüber 11,3% aufgrund einer erneuten Infektion) (Dietz et al. 2019).

Dennoch müssen die vorliegenden Befunde im Zusammenhang mit der Bildgebung, dem Schweregrad der Diagnose sowie dem Grad der Instabilität für die korrekte Entscheidung des operativen Vorgehens gleichermaßen beitragen und gegenüber den Begleitrisiken abgewogen werden.

Die Spondylodiszitis als solche wird als schwere Infektionskrankheit der Bandscheibe sowie der angrenzenden Wirbelkörper bezeichnet, die zur Zerstörung des beweglichen Segmentes führt. Mit einer Sterblichkeitsrate von 15% ist heutzutage die operative Versorgung der konservativen vorzuziehen (Michiels und Jager 2017), um somit eine Normalisierung der Entzündungsparameter und eine stabile Knochenfusion zu erreichen.

Auffallend sind die unterschiedlichen Angaben über den Zeitraum zwischen Operation und radiologischer Beurteilung. So konnte Been (Been und Bouma 1999) eine Fusionsrate von 100 % bei einem mittleren follow-up von 7 Jahren in einem Patientenkollektiv von 27 Patienten nachweisen, wobei jedoch auch das durchschnittliche Patientenalter mit 26,8 Jahren deutlich niedriger war als in der eigenen Patientengruppe.

In einem altersmäßig vergleichbaren Patientenkollektiv zeigte sich bei Verwendung eines autologen trikortikalen Beckenkammspanns nach 12 Monaten eine Fusionsrate von 77 % (23/30 Patienten). In dieser Studie kam es jedoch bei 7 % (2 Patienten) zu einer Osteonekrose des Transplantats und einem resultierendem Spanbruch (Briem et al. 2003).

Auch in der Multicenterstudie der DGU (Knop et al. 2001) wird bei den kombinierten und ausschließlich ventral operierten sowie mit einem Knochenspan versorgten Patienten bei 12 % (11 Patienten) nach durchschnittlich 14 Monaten eine Osteonekrose bzw. Spanpseudarthrose beschrieben. Durch die Verwendung eines VLIFT® Wirbelkörperersatzsystems konnte diese mögliche Komplikation in der eigenen Studie vermieden werden. Hierbei zeigt sich im Vergleich zu einem Beckenkammspan neben der fehlenden Entnahmemorbidität ein weiterer Vorteil.

Eine weitere Ursache für vergleichsweise niedrige Fusionsraten kann in dem sogenannten „stress-shielding“ eines vergleichsweise voluminösen expandierbaren Korporektomie-Cages auf die inkorporierte Spongiosa liegen. So wird vermutet, dass die hohe Rigidität des Systems eine Stressprotektion der eingebrachten autologen Spongiosa bedingt und dadurch die knöcherne Durchbauung verzögert bzw. die Entstehung von Pseudarthrosen gefördert wird (Kandziora et al. 2004).

Auch Feighan et al fanden Hinweise für die in der Literatur beschriebene Abhängigkeit einer möglichen Fusion von der Rigidität der stabilisierten Segmente (Feighan et al. 1995).

Die zusätzliche Implantation einer ventralen Platte erbrachte jedoch keinen signifikanten Vorteil hinsichtlich der Fusion. Allerdings ist hier die eingeschränkte Probandenanzahl mit zu beachten (Schnake et al. 2013).

Mit Unterschieden in Alter, Größe des Patientenkollektives, OP-Verfahren und Knochendichte sowie Begleitkomplikationen und Nachuntersuchungszeiträumen bei verschiedenen radiologischen Verfahren und Fusionskriterien lassen sich die verschiedenen Fusionsraten herangezogener Vergleichsstudien erklären.

Zudem konnte im Tiermodell unter der Gabe von NSAR, Kortikosteroiden sowie in einer klinischen Studie bei Rauchern eine geringere Fusionsrate beobachtet werden (Wittenberg et al. 1991, Glassman et al. 2000).

Tierexperimentell zeigten sich Hinweise, dass die Fusionsrate signifikant von der Durchblutung im Gebiet der angestrebten Fusion abhängt (Toribatake et al. 1998).

Daraus kann ein Zusammenhang zur initialen Fraktur angenommen werden. Durch eine höhergradige Fraktur, welche mit einer Zerstörung umliegender Strukturen und Gefäße einhergeht, kann postoperativ eine schlechtere Durchblutung und Versorgung gewährleistet werden.

6.1.7 Osteoporose

Die Osteoporose als eine Begleitkomorbidität des Patienten im hohen Alter mit den Herausforderungen der operativen Versorgung sollte auch in dieser Arbeit eine gesonderte Stellung einnehmen.

Schon Zoarski et al attestierten der Vertebroplastie eine suffiziente Schmerzlinderung in 80 - 90% der Fälle und gleichzeitig das Verhindern der Progression eines Wirbelkörperkollapses mit guten Langzeitergebnissen zur Therapie osteoporotischer Frakturen (Zoarski et al. 2002).

Eine andere Studie zeigte hinsichtlich des Repositionsverlustes nach Cageimplantation lediglich bei einem Patienten einen Korrekturverlust von 5° mit normaler Knochendichte. Dem gegenüber standen gleich 4 Patienten mit einem Korrekturverlust von ca. 10° bei nachgewiesener manifester Osteoporose (Vieweg et al. 2003). Osteoporose ist einer der Hauptgründe für sekundäre Implantatdislokationen (Sattler et al. 2007). Durch die verminderte Knochenqualität wird dem implantierten Material eine geringere Stabilität zuteil. Im T- Test für 2 unabhängige Stichproben konnte in der hiesigen Studie die Hypothese zwar nicht bestätigt werden, allerdings ist das Ergebnis aufgrund des Stichprobenumfangs von nur 1 Person mit manifester Osteoporose, welche nachweislich einen Repositionsverlust erlitt, nur hinreichend valide. Das Vorhandensein von Osteoporose zeigte dennoch ein 3,5-fach erhöhtes Risiko für Lageveränderungen der intraoperativ eingebrachten Schrauben.

Bis zu einer möglichen Entwicklung individualisierter partieller Endplattenkomponenten oder vollständiger Wirbelkörperersatzimplantate bildet die Zementaugmentation um die Pedikelschrauben und Endplatten eine Therapieoption zur Reduktion des Risikos der Sinterungs- und Dislokationsproblematik. Geiger et al konnten hierdurch eine Steigerung der ventralen Stabilität nachweisen (Geiger et al. 2011). Generell sollten kurzstreckige winkelstabile Pedikelschraubensysteme präferiert werden, da diese größeren Ausreiß-Translations- und Rotationskräften standhalten können und einen besseren postoperativen Verlauf gewährleisten. (Reinhold et al. 2009a)

Eine weitere Option stellt die zementaugmentierte Schraubenimplantation dar. Diese werden in herkömmlicher Weise in den Wirbelkörper eingebracht und anschließend erfolgt die Zementapplikation über spezielle Perforationen unter kontrollierten Druckbedingungen und ständiger Bildwandlerkontrolle. Dieses Verfahren ist deutlich schneller und erlaubt je nach Gefühl beim Schraubeneindreihen die intraoperative Entscheidung bzgl. einer Zementaugmentation. Bei einer prospektiven Studie mit Leipziger Probanden mit einem Durchschnittsalter von 74 Jahren und einem T- Score von -2,7 musste lediglich bei 2 von 47 Patienten eine Schraubenrevision aufgrund von Lockerung durchgeführt werden. Das sind deutlich weniger als bei konventionell nicht augmentierten kurzstreckigen Instrumentierungen (Blatter et al, 2009).

Der Nachteil bei solchen Schrauben besteht in der verminderten Widerstandsfähigkeit gegenüber Biegekräften sowie einer gesteigerten Kostenintensität. Hierdurch kann rasch eine deutlich erhöhte Ausrissfestigkeit (Becker et al. 2008) bei postoperativer Risikoreduktion für Schraubenlockerung (Hsu et al. 2005) oder Deckplattenperforation erzielt werden. Zudem erlaubt es eine kürzere Fusionsstrecke mit nachfolgend verkürzter OP-Dauer und somit sinkendem peri- und postoperativem Komplikationsrisiko. Eine Studie von Tuschel und Becker (Tuschel und Becker 2015) zeigt einen Anstieg zementaugmentierter Fusionen von 2007 mit 2,3% auf 15,7% im Jahre 2014. Ursächlich für die Zementaugmentation war ein Anstieg des mittleren Alters der operierten Patienten auf 72,2 Jahre. Vergleichsweise hierzu lag das Durchschnittsalter bei den ohne Zement versorgten Patienten bei 64,4, Jahren. Dies lässt eine Korrelation zwischen abnehmender Knochendichte mit zunehmendem Alter zu wie in Tab.17 des Robert Koch Institutes (RKI) dargestellt.

Mit einem p- Wert $> 0,05$ konnten wir keine Signifikanz beim Zusammenhang zwischen der Knochendichte und einer knöchernen Fusion (entsprechend Grad I nach Schnake) nachweisen.

Frauen	%	(95 %-KI)	Männer	%	(95 %-KI)
Frauen (gesamt)	7,8	(7,2–8,5)	Männer (gesamt)	2,0	(1,7–2,4)
18–29 Jahre	0,3	(0,1–1,1)	18–29 Jahre	0,3	(0,1–0,8)
Untere Bildungsgruppe	–	–	Untere Bildungsgruppe	0,5	(0,1–2,3)
Mittlere Bildungsgruppe	0,4	(0,1–1,8)	Mittlere Bildungsgruppe	0,3	(0,1–0,9)
Obere Bildungsgruppe	–	–	Obere Bildungsgruppe	–	–
30–44 Jahre	0,7	(0,4–1,2)	30–44 Jahre	0,5	(0,2–1,0)
Untere Bildungsgruppe	1,8	(0,6–4,8)	Untere Bildungsgruppe	1,2	(0,4–4,2)
Mittlere Bildungsgruppe	0,8	(0,4–1,5)	Mittlere Bildungsgruppe	0,5	(0,2–1,3)
Obere Bildungsgruppe	–	–	Obere Bildungsgruppe	0,2	(0,0–0,8)
45–64 Jahre	4,4	(3,7–5,1)	45–64 Jahre	1,9	(1,4–2,6)
Untere Bildungsgruppe	7,2	(5,2–9,9)	Untere Bildungsgruppe	2,7	(1,3–5,7)
Mittlere Bildungsgruppe	4,0	(3,2–5,0)	Mittlere Bildungsgruppe	2,4	(1,7–3,4)
Obere Bildungsgruppe	2,9	(2,0–4,2)	Obere Bildungsgruppe	0,7	(0,4–1,3)
≥ 65 Jahre	24,0	(21,9–26,2)	≥ 65 Jahre	5,6	(4,5–6,9)
Untere Bildungsgruppe	25,9	(22,9–29,1)	Untere Bildungsgruppe	9,0	(6,3–12,8)
Mittlere Bildungsgruppe	23,4	(20,6–26,4)	Mittlere Bildungsgruppe	5,3	(3,9–7,2)
Obere Bildungsgruppe	18,2	(14,0–23,2)	Obere Bildungsgruppe	4,6	(3,2–6,5)
Gesamt (Frauen und Männer)	5,0	(4,6–5,4)	Gesamt (Frauen und Männer)	5,0	(4,6–5,4)

KI = Konfidenzintervall

Tab.17: 12- Monats-Prävalenz der Osteoporose nach Geschlecht, Alter und Bildungsstatus

(n = 12.270 Frauen; n = 10.074 Männer) Quelle: GEDA 2014/2015-EHIS (Fuchs J 2017)

Neben der Optimierung der operativen Verfahren muss über eine begleitende geeignete medikamentöse Versorgung der Patienten nachgedacht werden.

Lange Zeit waren Bisphosphonate das Mittel der Wahl. Diese wirken antiresorptiv und fördern die Apoptose reifer Osteoklasten und verlangsamen bzw. verhindern somit das gefürchtete Knochenremodelling. Allerdings fand sich in einer Studie hierzu eine ebenso begleitende verzögerte Fusion nach Frakturversorgung durch einen gehemmten Einbau des transplantierten Knochenmaterials (Park und Chung 2011).

Um also nicht nur den Knochenabbau zu verhindern, sondern auch aufzubauen, gewinnen anabolische Wirkstoffe und andere Resorptionsinhibitoren wie RANKL- Antikörper an Bedeutung. Letztere, wie das Denosumab, als Hauptstimulator für die Osteoklastendifferenzierung, tragen nicht zum Abbau derer und damit gleichzeitig zur Förderung des Knochenaufbaus bei. Denn durch die Freisetzung von Wachstumsfaktoren durch die Osteoklasten werden wiederum die Osteoblasten für den Knochenaufbau aktiviert.

6.2 Limitationen der Studie

Die Datenerfassung in dieser Arbeit folgte einem retrospektiven Studiendesign, welches eine hohe Fehleranfälligkeit mit demzufolge eingeschränkter statistischer Aussagekraft zur Folge hat. Die Güte der Daten unterliegt einer genauen und sorgfältigen Dokumentation seitens des

Arztes während der gesamten Behandlungszeit. Aufgrund einer individuell unterschiedlichen Anamneseerhebung und Untersuchung gab es keine klaren Vorgaben bzgl. des Ablaufes. Zudem stellen die Angaben der Patienten, gerade aufgrund der mit zunehmendem Alter häufig eingeschränkten kognitiven Leistung, eine zusätzliche Fehlerquelle dar. Nicht immer ist genau zu eruieren, ob eine entsprechende Symptomatik vorlag, oder aufgrund mangelnden Nachfragens oder Unsicherheit seitens der Patienten, vergessen wurde zu erfassen oder zu dokumentieren.

Aufgrund der bis 2013 noch nicht standardisierten Osteodensitometrie im präoperativen Setting bei stattgehabten Wirbelkörperfrakturen erfolgte nur bei einem Teil des Patientenkollektives eine Knochendichtemessung mittels einer quantitativen Computertomographie.

Zur Datenvervollständigung und angestrebten validen Aussagekraft erfolgte die Kontaktaufnahme zu den jeweiligen behandelnden Hausärzten. Sie wurden um die Zusendung von etwaigen Vorbefunden bzgl. in der Vergangenheit stattgehabten Knochendichtemessungen ihrer Patienten gebeten. Leider waren trotz einer positiven Resonanz nur sehr eingeschränkt verwendbare Daten vorhanden. Diese Umstände führen dementsprechend zu einer eingeschränkten Beurteilbarkeit und auch Vergleichbarkeit gegenüber den anderen Gruppen und sollte bei der Betrachtung der p- Werte zur Signifikanzbeurteilung bedacht werden.

Der fehlende standardisierte Ablauf führt zu unterschiedlichen Entscheidungen bzgl. der Indikationsstellung, der Wahl des jeweiligen Therapieverfahrens und auch der Einschätzung aufgetretener Komplikationen und deren anschließender Behandlung. Sie hängen von der persönlichen Entscheidung des behandelnden Arztes und gewissermaßen auch von dessen operativer Erfahrung ab.

Während des nachstationären Behandlungssettings erschienen die Patienten nicht immer regelmäßig zu den vereinbarten Terminen. Zum einen kann die eingetretene Beschwerdefreiheit ursächlich sein, zum anderen spielen möglicherweise demografische Faktoren wie Umzug, Versterben oder gar körperliche sowie geistige Einschränkungen eine Rolle, welche das Erscheinen zu den Nachbehandlungsterminen erschwerten.

Zudem existieren aber auch Vorteile der retrospektiven Datenerhebung. Es besteht eine unbeeinflusste Datenerhebung, d.h. dass die Patienten ohne das Ziel einer späteren oder unmittelbaren Nutzung behandelt und ausgewählt wurden. Aufgrund des schon vorhandenen Datensatzes ist dieses Studiendesign weniger kostenintensiv als prospektive Studien.

Vorteilhaft zu erwähnen ist die große Anzahl der Patienten mit einer breiten Altersspanne, welches die Aussagekraft dieser Arbeit steigert. Zudem erfolgte die Auswertung aller Daten mit dem gleichen Radiologie- (CPW) und Statistik- (SPSS) Programm bei identischer Verfahrensweise, womit eine gute Vergleichbarkeit zwischen den erhaltenen Ergebnissen besteht.

7 Schlussfolgerungen

Nach dem Auswerten der retrospektiven Studie mit 123 Patienten, welche im Zeitraum von 2009- 2013 am UKJ einen VLIFT® Cage erhielten und dem Vergleich mit anderen publizierten Studien, zeigen sich Wirbelkörperfrakturen der Kategorie A3 nach Magerl als eine der häufigsten. Die deutliche Mehrheit liegt im Bereich des thorakolumbalen Übergangs mit Beteiligung des ersten Lendenwirbelkörpers. Ursächlich sind neben stattgehabten Unfällen, wie Hochrasanztraumata bei Straßenverkehrsunfällen, Spondylitiden und Metastasen bei tumorbedingter Grunderkrankung.

Es kristallisierte sich heraus, dass die Rolle der Osteoporose bei den Frakturursachen mittlerweile hinter den Traumata rangiert. Diese Tatsache ist bedingt durch den demografischen Wandel der heutigen Zeit mit einer immer älter werdenden Bevölkerung. Zwar sind derzeit noch mit 2/3 der Frakturfälle die Männer betroffen, allerdings wird sich aller Wahrscheinlichkeit nach das Verhältnis zunehmend angleichen, da Frauen mit der postmenopausalen Veränderung des Östrogenhaushaltes zunehmend von einer verminderten Knochendichte betroffen sein werden.

Es existieren verschiedene Behandlungsstrategien. Neben der konservativen Therapie mit Tragen eines Korsetts und Frühmobilisation gibt es die weniger invasiven Methoden der Vertebro- und Kyphoplastie sowie die Versorgung mittels Fixateur interne oder Wirbelkörperersatzimplantaten mittels autologen Knochenspanes oder einem Titancage. Zunehmend wird von der Methode der kombinierten dorsoventralen Versorgung Gebrauch gemacht, da diese Studienergebnissen zufolge eine größtmögliche Stabilität gewährleisten kann. Zudem wird eine alleinige dorsale, ventrale oder kombinierte Versorgung bei höhergradigen Frakturen mit Hinterkantenbeteiligung und/oder neurologischen Defiziten unabdingbar, um eine voranschreitende Dekompression des Spinalkanals zu verhindern.

Auch hier vollzieht sich ein Wandel hinsichtlich der Knochendichte. Immer mehr muss über den Einsatz zementaugmentierter Schraubenimplantation nachgedacht werden.

Zudem müssen bereits existierende Cages immer weiter angepasst und weiterentwickelt werden. Gleichzeitig sollte die Knochendichtemessung spätestens nach Frakturdiagnose zum standardisierten Ablauf gehören, um ggf. eine rechtzeitige Abklärung einer Osteoporose einleiten zu können.

Zur Wiederherstellung der ventralen Säule des frakturierten Wirbelkörpers steht die Wahl zwischen autologem Knochenmaterial oder verschiedenster Platzhalter aus Titan. Hier kommen u.a. distrahierbare Cages, wie z.B. der VLIFT®, zum Einsatz. Ihr Vorteil liegt in

einer in situ Distraction und somit optimalem Sitz durch die Press fit Technik. Einen weiteren Vorteil bietet, neben der Möglichkeit zur minimalinvasiven Operationstechnik, das intraoperative Anlagern von Spongiosa. Somit kann die Chance einer guten knöchernen Fusion erhöht werden. Zudem muss bei der Behandlung der negative Einfluss weiterer Faktoren wie Nikotinabusus, Medikamenteneinnahme und die Durchblutung des operativ versorgten Gebietes bei der knöchernen Heilung bedacht werden.

Nachteilig zu erwähnen ist, dass sich Verlauf nicht selten Cagesinterungen und -verkippungen zeigen. Die Verlaufsbeurteilung zur Lage wird mittels der bewährten Cobb Methode gemessen. Hier zeigt sich zumeist eine Deckplattenimpression in den nachfolgenden Wirbelkörper. Diskutiert wird derzeit der Einsatz von Zement zur besseren Endplattenfixation.

Wichtig dabei ist u.a. die Bestimmung des Repositionsverlustes im Verlauf. Es zeigt sich meist direkt postoperativ ein deutlicher Repositionsgewinn des präoperativen Kyphosewinkels. Nach erfolgter OP ist schrittweise wieder zunehmend ein Repositionsverlust zu verzeichnen. Bei der kombinierten dorsoventralen Versorgung zeigt sich hierbei der geringste Repositionsverlust über das gesamte Follow up.

Trotz verschiedener Studiendesigns mit unterschiedlichem Stichprobenumfang und Messgrößen lässt sich hier der Verlust auf 2°- 4° eingrenzen.

Dabei ist kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Größe des eingebrachten Cages und einem nachfolgendem Repositionsverlust erkennbar.

Insgesamt erweist sich der Einsatz eines ventralen Wirbelkörperersatzsystems relativ komplikationsarm. Unabhängig vom intraoperativ verwendeten Material besteht das Risiko einer Wundheilungsstörung. Allerdings zeigt sich eine Risikominimierung für Infektionen oder Begleitkomplikationen beim Einsatz von Titancages ggü. autologem Knochenmaterial, da hierdurch das Eröffnen eines weiteren OP-Situs entfällt.

Generell ist zwischen dem operativ gewähltem Zugangsweg und aufgetretenen Komplikationen keine Signifikanz zu erkennen. Dennoch ist bei Thorakotomie mit vermehrten pulmonalen Komplikationen zu rechnen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass prospektive Studien unabdingbar für die weitere Entwicklung von ventralen Wirbelkörperersatzsystemen sind, insbesondere aufgrund der Zunahme an durch Osteoporose bedingten Frakturen. Aktuell ist eine Zunahme des Altersmedians operierter Patienten mit verminderter Knochendichte bei steigender Inzidenz an Osteoporose Erkrankten zu verzeichnen. Weiterhin wäre begleitend eine Mitbeurteilung

der Lebensqualität und der Reintegration in das alte Leben interessant. Dabei sollte die Aufnahme eines genormten Fragebogens überdacht werden mit begleitendem Augenmerk auf ein standardisiertes Schema nach der diagnostizierten Wirbelkörperfraktur.

8 Wichtige Hinweise

Erste Ergebnisse wurden bereits 2016 unter der Rubrik „Ventrale Wirbelkörperstabilisierung mittels expandierbarer Cages - Komplikationen bei osteoporotischen Patienten“ auf dem Deutschen Wirbelsäulenkongress in Hannover vorgestellt.

9 Literatur- und Quellenverzeichnis

- Abumi K, Panjabi MM, Duranceau J. 1989. *Biomechanical evaluation of spinal fixation devices. Part III. Stability provided by six spinal fixation devices and interbody bone graft.* Spine (Phila Pa 1976), 14 (11):1249-1255.
- Alpantaki K, Bano A, Pasku D, Mavrogenis AF, Papagelopoulos PJ, Sapkas GS, Korres DS, Katonis P. 2010. *Thoracolumbar burst fractures: a systematic review of management.* Orthopedics, 33 (6):422-429.
- Aspray TJ, Hill TR. 2019. *Osteoporosis and the Ageing Skeleton.* Subcell Biochem, 91:453-476.
- Barnes B, Kraywinkel K, Nowossadeck E, Schönfeld I, Starker A, Wienecke A, Wolf U. 2016. *Bericht zum Krebsgeschehen in Deutschland 2016* Robert Koch-Institut.
- Bartl R, Bartl C. 2013. *Osteoporose-Manual: Diagnostik, Prävention und Therapie.* Springer-Verlag.
- Becker S, Chavanne A, Spitaler R, Kropik K, Aigner N, Ogon M, Redl H. 2008. *Assessment of different screw augmentation techniques and screw designs in osteoporotic spines.* Eur Spine J, 17 (11):1462-1469.
- Been HD, Bouma GJ. 1999. *Comparison of two types of surgery for thoraco-lumbar burst fractures: combined anterior and posterior stabilisation vs. posterior instrumentation only.* Acta Neurochir (Wien), 141 (4):349-357.
- Beisse R. 2006. *Endoscopic surgery on the thoracolumbar junction of the spine.* Eur Spine J, 15 (6):687-704.
- Bence T, Schreiber U, Grupp T, Steinhauser E, Mittelmeier W. 2007. *Two column lesions in the thoracolumbar junction: anterior, posterior or combined approach? A comparative biomechanical in vitro investigation.* Eur Spine J, 16 (6):813-820.
- Blumenthal SL, Gill K. 1993. *Can lumbar spine radiographs accurately determine fusion in postoperative patients? Correlation of routine radiographs with a second surgical look at lumbar fusions.* Spine (Phila Pa 1976), 18 (9):1186-1189.
- Boden SD, Martin GJ, Jr., Horton WC, Truss TL, Sandhu HS. 1998. *Laparoscopic anterior spinal arthrodesis with rhBMP-2 in a titanium interbody threaded cage.* J Spinal Disord, 11 (2):95-101.
- Bohndorf K, Fessler R. 2006. *[Vertebroplasty and kyphoplasty in patients with osteoporotic fractures: secured knowledge and open questions].* Radiologe, 46 (10):881-892.
- Briem D, Rueger JM, Linhart W. 2003. *Einheilung autogener Transplantate nach dorsoventraler Instrumentierung instabiler Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule.* Der Unfallchirurg, 106:195-203.
- Brodsky AE, Kovalsky ES, Khalil MA. 1991. *Correlation of radiologic assessment of lumbar spine fusions with surgical exploration.* Spine (Phila Pa 1976), 16 (6 Suppl):S261-265.
- Coughlan JD. 1986. *Extrusion of bone graft after lumbar fusion: CT appearance.* J Comput Assist Tomogr, 10 (3):399-400.
- Criscitello AA, Fredrickson BE. 1997. *Thoracolumbar spine injuries.* Orthopedics, 20 (10):939-944.
- Cunningham BW, Kanayama M, Parker LM, Weis JC, Seftor JC, Fedder IL, McAfee PC. 1999. *Osteogenic protein versus autologous interbody arthrodesis in the sheep thoracic spine. A comparative endoscopic study using the Bagby and Kuslich interbody fusion device.* Spine (Phila Pa 1976), 24 (6):509-518.
- Dai LY, Jiang LS, Jiang SD. 2009. *Anterior-only stabilization using plating with bone structural autograft versus titanium mesh cages for two- or three-column thoracolumbar burst fractures: a prospective randomized study.* Spine (Phila Pa 1976), 34 (14):1429-1435.

- Defino HL, Canto FR. 2007. *Low thoracic and lumbar burst fractures: radiographic and functional outcomes*. Eur Spine J, 16 (11):1934-1943.
- Denis F. 1983. *The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries*. Spine (Phila Pa 1976), 8 (8):817-831.
- Dietz N, Sharma M, Alhourani A, Ugiliweneza B, Wang D, Nuno M, Drazin D, Boakye M. 2019. *Outcomes of decompression and fusion for treatment of spinal infection*. Neurosurg Focus, 46 (1):E7.
- Dudeny S, Lieberman IH, Reinhardt MK, Hussein M. 2002. *Kyphoplasty in the treatment of osteolytic vertebral compression fractures as a result of multiple myeloma*. J Clin Oncol, 20 (9):2382-2387.
- Eck KR, Lenke LG, Bridwell KH, Gilula LA, Lashgari CJ, Riew KD. 2000. *Radiographic assessment of anterior titanium mesh cages*. J Spinal Disord, 13 (6):501-509; discussion 510.
- Feighan JE, Stevenson S, Emery SE. 1995. *Biologic and biomechanic evaluation of posterior lumbar fusion in the rabbit. The effect of fixation rigidity*. Spine (Phila Pa 1976), 20 (14):1561-1567.
- Fuchs J S-NC, Kuhnert R 2017. *12-Monats-Prävalenz von Osteoporose in Deutschland*. Journal of Health Monitoring:61-65.
- Fuentes S, Blondel B, Metellus P, Gaudart J, Adetchessi T, Dufour H. 2010. *Percutaneous kyphoplasty and pedicle screw fixation for the management of thoraco-lumbar burst fractures*. Eur Spine J, 19 (8):1281-1287.
- Garfin SR, Yuan HA, Reiley MA. 2001. *New technologies in spine: kyphoplasty and vertebroplasty for the treatment of painful osteoporotic compression fractures*. Spine (Phila Pa 1976), 26 (14):1511-1515.
- Geiger F, Kafchitsas K, Rauschmann M. 2011. *Anterior vertebroplasty of adjacent levels after vertebral body replacement*. Eur Spine J, 20 (8):1385-1392.
- Gerhard Aumüller GA, Andreas Doll , Jürgen Engele. 2006. *Duale Reihe Anatomie*.
- Glassman SD, Anagnost SC, Parker A, Burke D, Johnson JR, Dimar JR. 2000. *The effect of cigarette smoking and smoking cessation on spinal fusion*. Spine (Phila Pa 1976), 25 (20):2608-2615.
- Gradl G. 2006. *Combined Stabilization of Thoracolumbar Spine Fractures*. European Journal of Trauma, 32 (3):249- 252.
- Harrington PR. 2002. *Treatment of scoliosis: correction and internal fixation by spine instrumentation*. June 1962. J Bone Joint Surg Am, 84-A (2):316.
- Hashemi A, Bednar D, Ziada S. 2009. *Pullout strength of pedicle screws augmented with particulate calcium phosphate: an experimental study*. Spine J, 9 (5):404-410.
- Hoffmann C, Spiegl UJ, Hauck S, Buhren V, Gonschorek O. 2013. *[What is the effect of ventral thoracoscopic spondylodesis (VTS) on elderly patients and what is the medium-term outcome?]*. Z Orthop Unfall, 151 (3):257-263.
- Hsu CC, Chao CK, Wang JL, Hou SM, Tsai YT, Lin J. 2005. *Increase of pullout strength of spinal pedicle screws with conical core: biomechanical tests and finite element analyses*. J Orthop Res, 23 (4):788-794.
- Ismail AA, Cooper C, Felsenberg D, Varlow J, Kanis JA, Silman AJ, O'Neill TW. 1999. *Number and type of vertebral deformities: epidemiological characteristics and relation to back pain and height loss*. European Vertebral Osteoporosis Study Group. Osteoporos Int, 9 (3):206-213.
- Kalff R, Ewald C, Waschke A, Gobisch L, Hopf C. 2013. *Degenerative lumbar spinal stenosis in older people: current treatment options*. Dtsch Arztebl Int, 110 (37):613-623; quiz 624.
- Kandziora F, Schnake KJ, Klostermann CK, Haas NP. 2004. *[Vertebral body replacement in spine surgery]*. Unfallchirurg, 107 (5):354-371.

- Kandziora F, Pflugmacher R, Schafer J, Born C, Duda G, Haas NP, Mittlmeier T. 2001. *Biomechanical comparison of cervical spine interbody fusion cages*. Spine (Phila Pa 1976), 26 (17):1850-1857.
- Kaneda K, Taneichi H, Abumi K, Hashimoto T, Satoh S, Fujiya M. 1997. *Anterior decompression and stabilization with the Kaneda device for thoracolumbar burst fractures associated with neurological deficits*. J Bone Joint Surg Am, 79 (1):69-83.
- Kant AP, Daum WJ, Dean SM, Uchida T. 1995. *Evaluation of lumbar spine fusion. Plain radiographs versus direct surgical exploration and observation*. Spine (Phila Pa 1976), 20 (21):2313-2317.
- Keynan O, Fisher CG, Vaccaro A, Fehlings MG, Oner FC, Dietz J, Kwon B, Rampersaud R, Bono C, France J, Dvorak M. 2006. *Radiographic measurement parameters in thoracolumbar fractures: a systematic review and consensus statement of the spine trauma study group*. Spine (Phila Pa 1976), 31 (5):E156-165.
- Khodadadyan-Klostermann C, Schaefer J, Schleicher P, Pflugmacher R, Eindorf T, Haas NP, Kandziora F. 2004. *[Expandable cages: biomechanical comparison of different cages for ventral spondylodesis in the thoracolumbar spine]*. Chirurg, 75 (7):694-701.
- Kim KH, Park JY, Chin DK. 2009. *Fusion criteria for posterior lumbar interbody fusion with intervertebral cages : the significance of traction spur*. J Korean Neurosurg Soc, 46 (4):328-332.
- Knop C, Kranabetter T, Reinhold M, Blauth M. 2009. *Combined posterior-anterior stabilisation of thoracolumbar injuries utilising a vertebral body replacing implant*. Eur Spine J, 18 (7):949-963.
- Knop C, Blauth M, Bastian L, Lange U, Kesting J, Tscherne H. 1997. *[Fractures of the thoracolumbar spine. Late results of dorsal instrumentation and its consequences]*. Unfallchirurg, 100 (8):630-639.
- Knop C, Blauth M, Bühren V, Arand M, Egbers HJ, Hax PM, Nothwang J, Oestern HJ, Pizanis A, Roth R, Weckbach A, Wentzensen A. 2001. *[Surgical treatment of injuries of the thoracolumbar transition--3: Follow-up examination. Results of a prospective multi-center study by the "Spinal" Study Group of the German Society of Trauma Surgery]*. Unfallchirurg, 104 (7):583-600.
- Lange U, Edeling S, Knop C, Bastian L, Oeser M, Krettek C, Blauth M. 2007. *Anterior vertebral body replacement with a titanium implant of adjustable height: a prospective clinical study*. Eur Spine J, 16 (2):161-172.
- Lee CK. 1988. *Accelerated degeneration of the segment adjacent to a lumbar fusion*. Spine (Phila Pa 1976), 13 (3):375-377.
- Li C, Zhou Y, Wang H, Liu J, Xiang L. 2014. *Treatment of unstable thoracolumbar fractures through short segment pedicle screw fixation techniques using pedicle fixation at the level of the fracture: a finite element analysis*. PLoS One, 9 (6):e99156.
- Lindsey RW, Dick W. 1991. *The fixateur interne in the reduction and stabilization of thoracolumbar spine fractures in patients with neurologic deficit*. Spine (Phila Pa 1976), 16 (3 Suppl):S140-145.
- Ma D, Li Y, Hackfort B, Zhao Y, Xiao J, Swanson PC, Lappe J, Xiao P, Cullen D, Akhter M, Recker R, Xiao GG. 2012. *Smoke-induced signal molecules in bone marrow cells from altered low-density lipoprotein receptor-related protein 5 mice*. J Proteome Res, 11 (7):3548-3560.
- Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S. 1994. *A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries*. Eur Spine J, 3 (4):184-201.
- McAfee PC. 1999. *Interbody fusion cages in reconstructive operations on the spine*. J Bone Joint Surg Am, 81 (6):859-880.
- Mensink GB, Schienkiewitz A, Haftenberger M, Lampert T, Ziese T, Scheidt-Nave C. 2013. *[Overweight and obesity in Germany: results of the German Health Interview and*

- Examination Survey for Adults (DEGS1)*. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz, 56 (5-6):786-794.
- Michiels I, Jager M. 2017. [*Spondylodiscitis : Current strategies for diagnosis and treatment*]. Orthopäde, 46 (9):785-804.
- Niethard FU, Pfeil J. 2005. *Orthopädie*. Stuttgart.
- O. Gonschorek ML, V. Bühren. March 2015. *Wirbelsäulenverletzungen Fraktur bei Osteoporose*. Trauma und Berufskrankheit, 17: pp 157–163.
- Olerud S, Karlstrom G, Sjoström L. 1988. *Transpedicular fixation of thoracolumbar vertebral fractures*. Clin Orthop Relat Res, 227:44-51.
- Panjabi MM, Oxland TR, Lin RM, McGowen TW. 1994. *Thoracolumbar burst fracture. A biomechanical investigation of its multidirectional flexibility*. Spine (Phila Pa 1976), 19 (5):578-585.
- Park SB, Chung CK. 2011. *Strategies of spinal fusion on osteoporotic spine*. J Korean Neurosurg Soc, 49 (6):317-322.
- Pfeifer M, Lehmann R, Minne HW. 2001. [*Therapy of osteoporosis from the viewpoint of evidence-based medicine*]. Med Klin (Munich), 96 (5):270-280.
- Pfeil A, Lehmann G, Lange U. 2018. [Update DVO guidelines 2017 on "Prophylaxis, diagnostics and treatment of osteoporosis in postmenopausal women and men" : What is new, what remains for rheumatologists?]. Z Rheumatol, 77 (9):759-763.
- Rajasekaran S. 2010. *Thoracolumbar burst fractures without neurological deficit: the role for conservative treatment*. Eur Spine J, 19 Suppl 1:S40-47.
- Rajasekaran S, Kanna RM, Schnake KJ, Vaccaro AR, Schroeder GD, Sadiqi S, Oner C. 2017. *Osteoporotic Thoracolumbar Fractures-How Are They Different?-Classification and Treatment Algorithm*. J Orthop Trauma, 31 Suppl 4:S49-S56.
- Rand T, Lomoschitz F, Cejna M, Grohs A, Kettenbach J. 2003. [Percutaneous radiologically-guided vertebroplasty in the treatment of osteoporotic and tumorous spinal body lesions]. Radiologe, 43 (9):723-728.
- Ray CD. 1997. *Threaded titanium cages for lumbar interbody fusions*. Spine (Phila Pa 1976), 22 (6):667-679; discussion 679-680.
- Reinhold M, Knop C, Beisse R, Audige L, Kandziora F, Pizanis A, Pranzl R, Gercek E, Schultheiss M, Weckbach A, Bühren V, Blauth M. 2009a. [*Operative treatment of traumatic fractures of the thoracic and lumbar spinal column: Part III: Follow up data*]. Unfallchirurg, 112 (3):294-316.
- Reinhold M, Knop C, Beisse R, Audige L, Kandziora F, Pizanis A, Pranzl R, Gercek E, Schultheiss M, Weckbach A, Bühren V, Blauth M. 2009b. [*Operative treatment of traumatic fractures of the thoracic and lumbar spinal column. Part I: epidemiology*]. Unfallchirurg, 112 (1):33-42, 44-35.
- Reiser M, Kuhn F, Debus J. 2017. *Radiologie*. Stuttgart.
- Resch H, Rabl M, Klampfer H, Ritter E, Povacz P. 2000. [*Surgical vs. conservative treatment of fractures of the thoracolumbar transition*]. Unfallchirurg, 103 (4):281-288.
- Rothman SL, Glenn WV, Jr. 1985. *CT evaluation of interbody fusion*. Clin Orthop Relat Res, (193):47-56.
- Roussouly P, Nnadi C. 2010. *Sagittal plane deformity: an overview of interpretation and management*. Eur Spine J, 19 (11):1824-1836.
- Roy-Camille R, Saillant G, Berteaux D, Salgado V. 1976. *Osteosynthesis of thoraco-lumbar spine fractures with metal plates screwed through the vertebral pedicles*. Reconstr Surg Traumatol, 15:2-16.
- Salzer M, Bosch P, Hackel H. 1977. [*Complete resection of a vertebral body (author's transl)*]. Arch Orthop Unfallchir, 90 (2):147-156.

- Sasso RC, LeHuec JC, Shaffrey C. 2005. *Iliac crest bone graft donor site pain after anterior lumbar interbody fusion: a prospective patient satisfaction outcome assessment*. J Spinal Disord Tech, 18 Suppl:S77-81.
- Sattler M, Goesling T, Busche M, Krettek C, Bastian L. 2007. *Secondary Collapse of an Expandable Cage After Vertebral Corpectomy*. Eur J Trauma Emerg Surg, 33 (6):659-661.
- Scheer JK, Bakhsheshian J, Fakurnejad S, Oh T, Dahdaleh NS, Smith ZA. 2015. *Evidence-Based Medicine of Traumatic Thoracolumbar Burst Fractures: A Systematic Review of Operative Management across 20 Years*. Global Spine J, 5 (1):73-82.
- Scheiderer WD, Gruber HP. 2008. *Verletzungen der Wirbelsäule- Indikationen und Techniken der konservativen Therapie*. Trauma und Berufskrankheit, 10:386-390.
- Schnake DKJ, Görler T, Kandziora FM. 2013. *Fusionskriterien für Cages als Wirbelkörperersatz bei thorakolumbalen Frakturen*. Der Unfallchirurg, 117:1005-1011.
- Schnake KJ, Stavridis SI, Kandziora F. 2014. *Five-year clinical and radiological results of combined anteroposterior stabilization of thoracolumbar fractures*. J Neurosurg Spine, 20 (5):497-504.
- Schnake KJ, Schroeder GD, Vaccaro AR, Oner C. 2017. *AOSpine Classification Systems (Subaxial, Thoracolumbar)*. J Orthop Trauma, 31 Suppl 4:S14-S23.
- Schnake KJ, Blattert TR, Hahn P, Franck A, Hartmann F, Ullrich B, Verheyden A, Mork S, Zimmermann V, Gonschorek O, Muller M, Katscher S, Saman AE, Pajenda G, Morrison R, Schinkel C, Piltz S, Partenheimer A, Muller CW, Gercek E, Scherer M, Bouzraki N, Kandziora F. 2018. *Classification of Osteoporotic Thoracolumbar Spine Fractures: Recommendations of the Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma (DGOU)*. Global Spine J, 8 (2 Suppl):46S-49S.
- Schulz R, Melcher RP, Garib MC, Schulz H, Weissman K, Harms J. 2014. *Does kyphotic deformity correlate with functional outcomes in fractures at the thoracolumbar junction treated by 360 degrees instrumented fusion?* Eur J Orthop Surg Traumatol, 24 Suppl 1:S93-101.
- Scoville WB, Palmer AH, Samra K, Chong G. 1967. *The use of acrylic plastic for vertebral replacement or fixation in metastatic disease of the spine*. Technical note. J Neurosurg, 27 (3):274-279.
- Shah RR, Mohammed S, Saifuddin A, Taylor BA. 2003. *Comparison of plain radiographs with CT scan to evaluate interbody fusion following the use of titanium interbody cages and transpedicular instrumentation*. Eur Spine J, 12 (4):378-385.
- Stauffer RN, Coventry MB. 1972. *Anterior interbody lumbar spine fusion*. Analysis of Mayo Clinic series. J Bone Joint Surg Am, 54 (4):756-768.
- Stoltze D, Harms J. 1999. *[Correction of posttraumatic deformities. Principles and methods]*. Orthopade, 28 (8):731-745.
- Stryker GmbH&Co.KG. 2006. *VLIFT OP- Anleitung Duisburg*.
- Tarhan T, Froemel D, Rickert M, Rauschmann M, Fleege C. 2015. *[History of vertebral body replacement]*. Unfallchirurg, 118 Suppl 1:73-79.
- Tasdemiroglu E, Tibbs PA. 1995. *Long-term follow-up results of thoracolumbar fractures after posterior instrumentation*. Spine (Phila Pa 1976), 20 (15):1704-1708.
- Toribatake Y, Hutton WC, Tomita K, Boden SD. 1998. *Vascularization of the fusion mass in a posterolateral intertransverse process fusion*. Spine (Phila Pa 1976), 23 (10):1149-1154.
- Tuschel A, Becker P. 2015. *Zementaugmentierte Fusionen bei betagten Patienten*. Jatro Orthopädie und Traumatologie.
- Ulmar B, Cakir B, Huch K, Puhl W, Richter M. 2004. *[Vertebral body replacement with expandable titanium cages]*. Z Orthop Ihre Grenzgeb, 142 (4):449-455.

- Vaccaro AR, Oner C, Kepler CK, Dvorak M, Schnake K, Bellabarba C, Reinhold M, Aarabi B, Kandziora F, Chapman J, Shanmuganathan R, Fehlings M, Vialle L. 2013. *AOSpine thoracolumbar spine injury classification system: fracture description, neurological status, and key modifiers*. Spine (Phila Pa 1976), 38 (23):2028-2037.
- Vahldiek MJ, Panjabi MM. 1998. *Stability potential of spinal instrumentations in tumor vertebral body replacement surgery*. Spine (Phila Pa 1976), 23 (5):543-550.
- Verheyden AP, Spiegl UJ, Ekkerlein H, Gercek E, Hauck S, Josten C, Kandziora F, Katscher S, Kobbe P, Knop C, Lehmann W, Meffert RH, Muller CW, Partenheimer A, Schinkel C, Schleicher P, Scholz M, Ulrich C, 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 J, 8 (2 Suppl):34S-45S.
- Vieweg U, Sölch O, Kalff R. 2003. *Wirbelkörperersatzsystem Synex bei instabilen Berstungsfrakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule - eine retrospektive Studie bei 30 Patienten*. Zentralblatt für Neurochirurgie, 64:58- 64.
- Wawro W, Konrad L, Aebi M. 1994. *Single segment internal fixator device in treatment of thoracolumbar vertebral fractures*. Der Unfallchirurg, 97:114-120.
- Weinkamer R, Hartmann MA, Brechet Y, Fratzl P. 2004. *Stochastic lattice model for bone remodeling and aging*. Phys Rev Lett, 93 (22):228102.
- Wittenberg RH, Shea M, Swartz DE, Lee KS, White AA, 3rd, Hayes WC. 1991. *Importance of bone mineral density in instrumented spine fusions*. Spine (Phila Pa 1976), 16 (6):647-652.
- 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*. J Bone Joint Surg Am, 85-A (5):773-781.
- Yamamoto T, Shimizu K. 1994. *[Clinical application of AW glass ceramic prosthesis in spinal surgery]*. Nihon Seikeigeka Gakkai Zasshi, 68 (7):505-515.
- Zoarski GH, Snow P, Olan WJ, Stallmeyer MJ, Dick BW, Hebel JR, De Deyne M. 2002. *Percutaneous vertebroplasty for osteoporotic compression fractures: quantitative prospective evaluation of long-term outcomes*. J Vasc Interv Radiol, 13 (2 Pt 1):139-148.
- Zucherman JF, Hsu KY, Hartjen CA, Mehlic TF, Implicito DA, Martin MJ, Johnson DR, 2nd, Skidmore GA, Vessa PP, Dwyer JW, Puccio ST, Cauthen JC, Ozuna RM. 2005. *A multicenter, prospective, randomized trial evaluating the X STOP interspinous process decompression system for the treatment of neurogenic intermittent claudication: two-year follow-up results*. Spine (Phila Pa 1976), 30 (12):1351-1358.

10 Anhang

10.1 Danksagung

Hiermit möchte ich mich bei Herr Privatdozent Dr. med. habil. A. Waschke für die Überlassung des Themas und die Ermöglichung dieser Dissertation bedanken. Ich danke ihm besonders für die wissenschaftliche und fachliche Unterstützung in jeder Phase der Arbeit, für hilfreiche Ratschläge sowie für eine geduldige und sehr angenehme Betreuung während des gesamten Zeitraumes der Promotion.

Danken möchte ich Herrn Prof. Dr. med. R. Kalff, dem Direktor der Klinik für Neurochirurgie am Universitätsklinikum Jena, für die Möglichkeit des Verfassens dieser Dissertation in seiner Klinik und für die Nutzung der Räumlichkeiten zur Datenerhebung und -auswertung.

Ein besonderer Dank geht an Herr Dr. med. F. Schwarz, der mir während des gesamten Zeitraumes bei jeglicher Problematik zur Seite stand und mir wertvolle Tipps geben konnte. Ebenso danke ich Frau C. Heyer für die freundliche Hilfe in organisatorischen Angelegenheiten sowie dem gesamten Team der Neurochirurgie für die angenehme Arbeitsatmosphäre.

Für die Einführung in die Statistik und Hilfe bei der Bearbeitung meiner Daten möchte ich Herrn Prof. Dr. M. Walther einen großen Dank aussprechen. Er war mir eine stets große Hilfe und jederzeit bereit, meine Fragen und Probleme zu lösen.

Ein großer Dank geht an meine Familie und an meine Freunde, die mir für die gesamte Zeit der Dissertation, ermutigend und emotional zur Seite standen.

10.2 **Abbildungs- und Tabellenverzeichnis**

- Abb.1 3 Säulen Modell nach Denis
- Abb.2 zweidimensionale Darstellung der trabekulären Knochenstruktur in Abh. von altersbedingten Umbauprozessen
- Abb.3 OF Klassifikation osteoporotischer Frakturen
- Abb.4 pathologische Veränderungen der Wirbelkörper
- Abb.5 AO- Spine Klassifikation für Wirbelkörperfrakturen im thorakolumbalen Übergang
- Abb.6 Vertebroplastie LWK1 mit Fixateur interne von BWK 12- LWK 2
- Abb.7 Versorgung einer BWK 12 Fraktur dorsoventral kombiniert mit einem VLIFT® der Firma Stryker
- Abb.8 Minimalinvasiver Zugang von ventral (retroperitoneal)
- Abb.9 Blick auf das OP- Gebiet mittels selbsthaltender Retraktoren
- Abb.10 A3 Fraktur LWK 3
- Abb.11 OP- Situs nach vollendetem Wundverschluss mit einliegender Drainage
- Abb.12 Fusionskriterien nach Schnake
- Abb.13 Graphische Darstellung zur Bestimmung des Cobb- Winkels
- Abb.14 VLIFT® der Firma Stryker
- Abb.15 Darstellung des VLIFT® Cages intraoperativ
- Abb.16 Veranschaulichung der Geschlechterverteilung der 123 operativ versorgten Patienten
- Abb.17 Boxplot zur Veranschaulichung der Altersverteilung
- Abb.18 BMI Verteilung der operativ versorgten Patienten
- Abb.19 Häufigkeitsverteilung von Frakturursachen
- Abb.20 epidurales Empyem LWK 2 mit Kaudaaffektion und Spondylodiszitis
- Abb.21 osteolytische MTS im BWK 9
- Abb.22 sekundäre Deckplattenimpressionsfraktur bei Cagedislokation
- Abb.23 traumatische LWK 1 Fraktur
- Abb.24 osteoporotische Deckplattenimpressionsfraktur LWK 3
- Abb.25 Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Frakturtypen nach der Magerl-Klassifikation
- Abb.26 Häufigkeitsverteilung der Frakturlokalisation
- Abb.27 Häufigkeitsverteilung der intraoperativ verwendeten Größen an VLIFT® Cages

- Abb.28 Boxplot mit einem Nachbeobachtungszeitraum von 12 Monaten nach VLIFT® Implantation
- Abb.29 Gemessene Cobb- Winkel in Abh. von der Nachbeobachtungszeit in Monaten
- Abb.30 Durchschnittlicher Repositionsgewinn postoperativ
- Abb.31 Repositionsgewinn vs. Repositionsverlust postoperativ
- Abb.32 Repositionsgewinn einzelner VLIFT® Cages
- Abb.33 Repositionsverlust postoperativ
- Abb.34 Repositionsverlust in Abhängigkeit von den verschiedenen VLIFT® Cages
- Abb.35 Deckplatteneinbruch in den angrenzenden LWK 1
- Abb.36 Bsp. einer zunehmenden postop. Cagedislokation mit nachfolgend notwendiger Reposition
- Abb.37 Bsp. Einer Schraubenlockerung BWK 11
- Abb.38 Bestimmung der Cagesinterung anhand der Cobb- Methode
- Abb.39 Verlauf des Cobb- Winkels in Abhängigkeit von der Knochendichte
- Abb.40 Männer und Frauen mit Adipositas (BMI \geq 30) in Deutschland - Anteile an der gleichaltrigen Bevölkerung
- Tab.1 Häufigkeit Intraoperatives Einbringen von Spongiosa in den implantieren Cage
- Tab.2 Repositionsgewinn einzelner VLIFT® Cages
- Tab.3 Mittelwert des Repositionsgewinnes in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Nachuntersuchung
- Tab.4 Erfasste Komplikationen und deren numerische Angabe
- Tab.5 Anzahl (n) der Komplikationen Abh. von der gewählten Zugangsmethode
- Tab.6 Anzahl der Komplikationen bei klassischer Thorako- und Lumbotomie
- Tab.7 Anzahl der Wirbelkörperbrüche bzw. -sinterungen
- Tab.8 Anzahl der Anschlussfrakturen
- Tab.9 Anzahl der Anschlussfrakturen in Abh. von Ihrer Lage bzgl. der Spondylodese
- Tab.10 Management der Patienten mit postoperativ aufgetretenen Komplikationen
- Tab.11 Anzahl (n) der Patienten mit Schmerzen im operativen Zugangsbereich in Abh. vom Mini- open Zugangsweg
- Tab.12 Anzahl (n) der Patienten mit Schmerzen im operativen Zugangsbereich in Abh. von der Thorako- bzw. Lumbotomie

Tab.13	Korrelation zwischen Schmerzmedikation bei Entlassung und gewähltem Zugangsweg
Tab.14	Häufigkeitsverteilung des Fusionsgrades nach Schnake
Tab.15	Veränderung der Schraubenlage postoperativ in Abh. von der Knochendichte
Tab.16	Fusion nach Schnake in Abh. von der Knochendichte
Tab.17	12-Monats-Prävalenz der Osteoporose nach Geschlecht, Alter und Bildungsstatus

10.3 Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich- Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben: Priv.- Doz. Dr. med. habil. A. Waschke, Dr. med. F. Schwarz und Prof. Dr. M. Walther,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe,

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe und

dass laut der Bestätigung des Vorsitzenden der Ethik-Kommission Prof. Dr. U. Brandl vom 08.01.2019 keine ethischen oder berufsrechtlichen Bedenken bestehen.

Ort, Datum

Unterschrift des Verfassers

10.4 Statistik

	Quadratsumme	Mittel der Quadrate	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	111,85	22,37	0,87
Innerhalb der Gruppen	5762,90	61,31	-

Tabelle 10-1: Einfaktorielle ANOVA zum Prüfen der Signifikanz des Repositionsgewinnes zwischen den einzelnen Gruppen (p=0,87)

	Wert	Exakte Signifikanz (1-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	0,06	0,55
Exakter Test nach Fisher	0,06	
Anzahl der gültigen Fälle	118	

Tabelle 10-2: Prüfen der Signifikanz zwischen operativ gewähltem Zugangsweg und aufgetretenen Komplikationen nach dem Chi Quadrat Test

	Wert	Exakte Signifikanz (1-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	4,48	0,04
Exakter Test nach Fisher	4,45	
Anzahl der gültigen Fälle	117	

Tabelle 10-3: Prüfen der Signifikanz zwischen Thorako- und Lumbotomie und aufgetretenen Komplikationen nach dem Chi Quadrat Test

	Wert	Exakte Signifikanz
Chi-Quadrat nach Pearson	0,05	0,50
Exakter Test nach Fisher	0,05	
Anzahl der gültigen Fälle	93	

Tabelle 10-4: Berechnung der Signifikanz der Sinterungen in den angrenzenden Wirbelkörper in Abh. von der Höhe des Cages nach dem Chi²-Test

	Cage komplett
Mann-Whitney-U	995,0
Wilcoxon-W	2535,0
Exakte Signifikanz (2-seitig)	0,67

Tabelle 10-5: Berechnung der Signifikanz der Sinterungen in den angrenzenden Wirbelkörper in Abh. von der Gesamtgröße des Cages nach dem Chi²-Test

	Anzahl Segmente Läsion
Mann-Whitney-U	1023,0
Wilcoxon-W	1764,0
Exakte Signifikanz (2-seitig)	0,83

Tabelle 10-6: Berechnung der Signifikanz der Anzahl (n) der Wirbelkörpereinbrüche in Abh. von der Anzahl (n) der versorgten Segmente nach dem Mann Whitney U

	Anzahl Segmente Läsion
Mann-Whitney-U	1023,0
Wilcoxon-W	1764,0
Exakte Signifikanz (2-seitig)	0,84

Tabelle 10-7: Berechnung der Signifikanz der Anzahl der Anschlussfrakturen in Abh. von der Anzahl der versorgten Segmente

	Schmerzen im Zugangsbereich des ventralen Hautschnittes
Mann-Whitney-U	17,0
Wilcoxon-W	27,0
Exakte Signifikanz (2-seitig)	1,0

Tabelle 10-8: Signifikanz der Schmerzen in Abh. von operativ oder konservativ versorgten Patienten nach dem Mann Whitney Test

	Wert	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	4,69	0,10
Anzahl der gültigen Fälle	118,0	

Tabelle 10-9: Berechnung der Signifikanz nach dem Chi² Test von postoperativen Schmerzen in Abh. von dem Zugangsweg und/oder aufgetretenen Komplikationen

	Wert	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	4,60	0,10
Anzahl der gültigen Fälle	122,0	

Tabelle 10-10: Berechnung der Signifikanz der Schmerzen in Abh. vom Mini open Zugang nach dem Chi²- Test

	Wert	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	0,40 ^a	
Anzahl der gültigen Fälle	108,0	0,82

Tabelle 10-11: Signifikanzberechnung der Schmerzen in Abh. von der Höhe des operativen Zuganges mittels Chi² Test

	Fusion nach Schnake
Mann-Whitney-U	463,0
Wilcoxon-W	2948,0
Exakte Signifikanz (2-seitig)	0,79

Tabelle 10-12: Signifikanzberechnung der Fusion nach Schnake in Abh. von eingebrachter Spongiosa nach Mann Whitney Test

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
									Untere	Obere
Repositionsverlust	Varianzen sind gleich			-0,778	7	0,462	-69.750	89.608	-281.638	142.138
	Varianzen sind nicht gleich						-69.750			

Tabelle 10-13: T- Test, Repositionsverlust in Abhängigkeit von der Knochendichte

Test bei unabhängigen Stichproben										
		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
									Untere	Obere
Repositionsgewinn	Varianzen sind gleich	0,782	0,384	-0,076	29	0,94	-.3235	42.786	-90.741	84.272
	Varianzen sind nicht gleich			-0,109	3,191	0,92	-.3235	29.635	-94.430	87.961

Tabelle 10-14: T- Test, Repositionsgewinn in Abhängigkeit von der Knochendichte

	Wert	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	5,0	0,08
Anzahl der gültigen Fälle	50,0	

Tabelle 10-15: Berechnung der Signifikanz zwischen dem Zusammenhang einer möglichen Veränderung der Schraubenlage postoperativ und der Knochenqualität, Chi²- Test

	Fusion nach Schnake
Mann-Whitney-U	204,0
Wilcoxon-W	639,0
Exakte Signifikanz (2-seitig)	0,78

Tabelle 10-16: Berechnung der Signifikanz nach dem Mann Whitney Test, Zusammenhang zwischen Fusion nach Schnake und verminderter Knochendichte.

	Fusion nach Schnake
Mann-Whitney-U	12,0
Wilcoxon-W	18,0
Exakte Signifikanz (2-seitig)	0,26

Tabelle 10-17: Berechnung der Signifikanz nach dem Mann Whitney Test, Zusammenhang zwischen Fusion nach Schnake und Osteopenie

	Fusion nach Schnake
Mann-Whitney-U	24,0
Wilcoxon-W	30.0
Exakte Signifikanz (2-seitig)	0,25

Tabelle 10-18: Berechnung der Signifikanz nach dem Mann Whitney Test, Zusammenhang zwischen Fusion nach Schnake und Osteoporose