

Ein Jahr „Follow up“ nach Zementaugmentation osteoporotischer
Wirbelfrakturen mit einem neuen Kyphoplastie-System

- eine prospektive Studie -

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
Bonn

Ulrich Franz-Josef Andree
aus Düsseldorf
2012

Angefertigt mit der Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. Dr. med. Clayton N. Kraft
2. Gutachter: Prof. Dr. H. Strunk

Tag der Mündlichen Prüfung: 05.12.2011

Aus der Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie Uniklinik Bonn
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Dieter Christian Wirtz
und aus der Klinik für Orthopädie, Unfall- und Handchirurgie des HELIOS Klinikum
Krefeld
Direktor: Prof. Dr. med. Clayton N. Kraft

Meiner Freundin und meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	7
1. EINLEITUNG	9
1.1 Wirbelkörperfrakturen	9
1.1.1 Ätiologie und Pathogenese	9
1.1.2 Einteilung	10
1.1.3 Klinik	20
1.1.4 Anamnese	20
1.1.5 Klinische Untersuchung	20
1.1.6 Bildgebende Diagnostik	21
1.1.7 Therapie der Brust- und Lendenwirbelsäulenfrakturen	23
1.2 Osteoporose	25
1.2.1 Ätiologie und Pathogenese	25
1.2.2 Einteilung	26
1.2.3 Anamnese	29
1.2.4 Klinik	29
1.2.5 Diagnostik	30
1.2.6 Therapie von osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen	36
1.3 Fragestellung und Zielsetzung der Arbeit	51
2. MATERIAL UND METHODEN	53
2.1 Patientenkollektiv	53
2.2 Durchführung	56
2.2.1 Präoperative Diagnostik	56
2.2.2 Operation	57
2.2.3 Nachuntersuchung	59
2.3 Scores	60
2.3.1 Visual Analog Skala (VAS)	60
2.3.2 Oswestry-Low-Back-Pain-Disability Questionnaire	61
2.4 Statistik	61
2.4.1 Arithmetisches Mittel	61
2.4.2 Standardabweichung	62
2.4.3 Varianzanalyse	62
2.4.4 Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson	63
3. ERGEBNISSE	64
3.1 Patienten	64
3.2 Schmerzen	64
3.3 Oswestry-Low-Back-Pain-Disability Questionnaire	66
3.4 Radiologische Wirbelkörperhöhe prä- und postoperativ	69

3.5	Kyphosewinkel prä- und postoperativ	72
3.6	Compliance	73
3.7	Zementaustritte/ Komplikationen	75
4.	DISKUSSION	76
4.1	Schmerzreduktion	76
4.2	Lebensqualität	77
4.3	Kyphosewinkel	78
4.4	Wirbelkörperaufrichtung	79
4.5	Compliance	80
4.6	Frakturalter	81
4.7	Patientenkollektiv/Zeitraum	81
4.8	Komplikationen	82
4.9	Kritik der eigenen Arbeit/ Schlussfolgerung	83
5.	ZUSAMMENFASSUNG	85
6.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	87
7.	TABELLENVERZEICHNIS	90
8.	ANHANG	91
9.	LITERATURVERZEICHNIS	103
10.	DANKSAGUNG	113

Abkürzungsverzeichnis

AAD	atlantoaxiale Dislokationen
Abb.	Abbildung
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
AOD	atlantookzipitale Dislokationen
ASA	American Society of Anesthesiologists
ATLS	advanced trauma life support
BMI	Body Mass Index
BWS	Brustwirbelsäule
CaP	Kalziumphosphat
C3	dritter cranialer Wirbel
CT	Computertomographie
DVO	Dachverband der Osteologie
DXA	Dual energy X-ray Absorptiometry
HWS	Halswirbelsäule
i.v.	intravenös
i.m.	intramuskulär
L1	erster Lendenwirbel
LWS	Lendenwirbelsäule
M. Paget	Morbus Paget
MRT	Magnetresonanztomographie
OKF	okzipitokondyläre Frakturen (Frakturen der Hinterhauptkondylen)
PMMA	Polymethylmethacrylat
post-OP	post operativ
p.o.	per os
pQCT	peripheren quantitativen Computertomographie
QCT	quantitativen Computertomographie
QUS	quantitativen Ultrasonometrie
S1	erster sakraler Wirbel

s.c.	subcutan
Sv	Sievert
T12	12. thorakaler Wirbel
Tab.	Tabelle
VAS	Visual Analog Skala
WHO	World Health Organisation

1. Einleitung

1.1 Wirbelkörperfrakturen

In Deutschland geht man von rund 10.000 schwerwiegenden Wirbelsäulenverletzungen pro Jahr aus, wovon 25 % die Halswirbelsäule und 75% die Brust- und Lendenwirbelsäule betreffen (Müller et al., 2008). In etwa 75% der Fälle handelt es sich um ein Monotrauma der Wirbelsäule und in etwa 25% um eine Verletzung der Wirbelsäule im Rahmen eines Polytraumas (Maier und Marzi, 2008).

1.1.1 Ätiologie und Pathogenese

In Europa sind Verkehrsunfälle, Stürze aus großer Höhe und Sportverletzungen hauptsächlich für Wirbelsäulenverletzungen (Gonschorek und Bühren, 2006). Wirbelkörperfrakturen entstehen, wenn die einwirkende Kraft auf das Knochengewebe größer ist als die Festigkeit der entsprechenden Knochenstruktur. Pathologische Frakturen können auch bei inadäquat geringen Traumata (z. B. Aufstehen aus dem Bett) auftreten, wenn die Knochenfestigkeit gravierend geschwächt ist, z. B. durch das Vorliegen einer osteoporotischen Knochenstoffwechselstörung oder auf dem Boden eines Malignoms (z. B. multiples Myeloms) (Kasperk et al., 2008a).

Betroffen sind mit einem Anteil von zwei Dritteln hauptsächlich Männer mit einem deutlichen Altersgipfel zwischen 20 und 40 Jahren. Die sozialmedizinisch bedeutsame Inzidenz geriatrischer Verletzungen nach Banaltraumen und osteoporotischen Spontanfrakturen ist unzureichend bekannt. Etwa 70–80% der relevanten Verletzungen betreffen die Brust- und Lendenwirbelsäule, davon mehr als die Hälfte den thorakolumbalen Übergang. Am häufigsten betroffen ist der erste Lendenwirbelkörper und damit das Segment T12/L1 (Bühren, 2001).

1.1.2 Einteilung

Aufgrund der komplexen Strukturen der Wirbelsäule ist eine einheitliche Klassifikation unabdingbar. Sie

- erlaubt die Identifizierung jeder Verletzung durch möglichst einfache Algorithmen basierend auf klinischen und radiologischen Charakteristika,
- gibt reproduzierbar Hinweise zu Verletzungsschwere und Therapiewahl wieder,
- erleichtert die Kommunikation behandelnder Ärzte,
- erlaubt Rückschlüsse auf den Behandlungserfolg verschiedener operativer Strategien,
- ermöglicht den Vergleich verschiedener Patientenkollektive und
- kann so Grundlage klinischer Studien sein (Gonschorek und Bühren, 2006).

Frakturen der Wirbelsäule werden unterteilt nach ihrer anatomischen Lage. Somit wird die Halswirbelsäule abgegrenzt von der Brust- und Lendenwirbelsäule.

1.1.2.1 Die Halswirbelsäule

Anatomisch und biomechanisch müssen zwei Abschnitte der HWS unterschieden werden- die obere und die untere Halswirbelsäule. Die obere Halswirbelsäule (HWS) bestehend aus Okzipitalkondylen, Atlas und Dens axis (C0 bis C2) mit jeweils „einzigartigen“ Wirbelkörpern. Diese sind im Wesentlichen biomechanisch für die Kopfdrehung verantwortlich. Die untere Halswirbelsäule (C3 bis C7) ist prinzipiell gleichförmig aufgebaut. Sie dient der Extension und Flexion (Kayser et al., 2006).

Die Verletzungen der oberen HWS (C0-C2) werden nach den anatomischen Verhältnissen klassifiziert und unterteilen sich wie folgt:

1. C0-Frakturen: Frakturen der Hinterhauptkondylen (OKF),
2. atlantookzipitale Dislokationen (AOD),

3. C1-Frakturen: Atlasfrakturen,
4. atlantoaxiale Instabilitäten (AAD),
5. C2-Frakturen: Axisfrakturen,
6. Traumatische Spondylolisthese des Axis („Hangman’s fracture“)
(Kayser et al., 2006).

Eine Zusammenfassung der jeweiligen Klassifikationen, der Klinik, der Diagnostik und der Therapie ist im Anhang ersichtlich.

Für Verletzungen der unteren HWS (C3-C7) sind vor allem Verkehrsunfälle und Stürze aus großer Höhe ursächlich. Diese Verletzungen, meist begleitet mit knöchernen und diskoligamentären Läsionen, sind häufig mit schweren Begleitverletzungen assoziiert (Polytrauma, innere Verletzungen, weitere Wirbelsäulenverletzungen). Bis zu 43% der Betroffenen weisen ein neurologisches Defizit auf (Reinhold et al., 2006).

Die Verletzungen werden wie folgt unterteilt:

- Typ-A-Verletzungen umfassen die Impaktions-, Spalt- und Berstungsbrüche,
- Typ-B-Verletzungen stellen die Zweisäulenfrakturen, horizontalen Zerreißen der Bandscheibe und die Hyperextensionsverletzungen dar,
- Typ-C-Verletzungen sind vor allem die Luxationsfrakturen (Müller et al., 2008).

1.1.2.2 Die Brust- und Lendenwirbelsäule

Aus traumatologischer Sicht wird eine Dreiteilung der Brust- und Lendenwirbelsäule bevorzugt:

- thorakaler Abschnitt (TH1–10)
- thorakolumbaler Übergang (TH11–L2)
- unterer lumbaler Abschnitt (L3–S1) (Abb. 1)

Ventral wird der kyphotische Abschnitt des thorakalen Abschnittes (TH1-10) der Brustwirbelsäule durch den Rippenkäfig gegen Rotation stabilisiert. Einengungen in diesem Bereich von ca. 20% können bereits zu Lähmungen führen (Bühren, 2001).

Der Übergang von der Kyphose in die Lordose charakterisiert den Abschnitt TH11-L2 (thorakolumbaler Übergang). Der Wechsel von konvexer zu konkaver Form begünstigt die hohe Anfälligkeit dieses Wirbelsäulenabschnitts für Verletzungen. Entstehen durch diese Verletzungen Einengungen im Spinalkanal, bleiben diese bis zu einem Grad von 40% ohne zwangsläufig bleibende Komplettlähmungen (Bühren, 2001).

Die untere Lendenwirbelsäule (L3-S1) ist gekennzeichnet durch die Lordose und enthält nur noch Nervenwurzeln, die aufgrund ihrer Ausweichmöglichkeit Einengungen bis 90% zulassen (Bühren, 2001).

Die Frakturen der Brust und Lendenwirbelsäule werden im Wesentlichen nach dem Grad der Stabilität von Wirbelsäulenverletzungen differenziert. Des Weiteren werden „komplizierte“ Frakturen und Luxationen unterschieden, mit denen eine Mitverletzung essentieller Leitungsbahnen und Organe (neurogene Strukturen, Bauchorgane, Lunge und Gefäße) assoziiert ist. Da aber gegenwärtig keine gängige Wirbelsäulenklassifikationen auf diese wesentlichen Mitverletzungen eingeht, müssen diese als Prognose bestimmende Nebendiagnose ergänzt werden (Bühren, 2001). Die Stabilitäteeinteilung im Rahmen von Wirbelsäulenverletzungen ist jedoch komplex und nach wie vor nicht unumstritten (Gonschorek und Bühren, 2006).

Im Jahre 2000 erarbeitete Blauth eine modifizierte Differenzierung in Anlehnung an White und Panjabi aus dem Jahre 1990 (siehe Tab. 1)(Blauth et al., 2000, White und Panjabi, 1990).

Stabil	Keine weitere Veränderung der Stellung in Ruhe oder bei Belastung zu erwarten
Geringgradig instabil	Heilt ohne schwerwiegende Fehlstellung oder neurologische Störung aus
Hochgradig instabil	Bei funktioneller Belastung schwerwiegende Fehlstellung und neurologische Komplikation zu erwarten

Tab. 1: Stabilitätskriterien der Wirbelkörperfrakturen (in Anlehnung an White und Panjabi, 1990, modifiziert nach Blauth und Mitarbeiter, 2000)

Im europäischen Raum ist die Klassifikation von der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen (AO) für Wirbelsäulenverletzungen der Standard, welcher sich an der Einteilung von Magerl und Mitarbeitern aus dem Jahre 1994 orientiert (siehe Abb. 1) (Magerl et al., 1994).

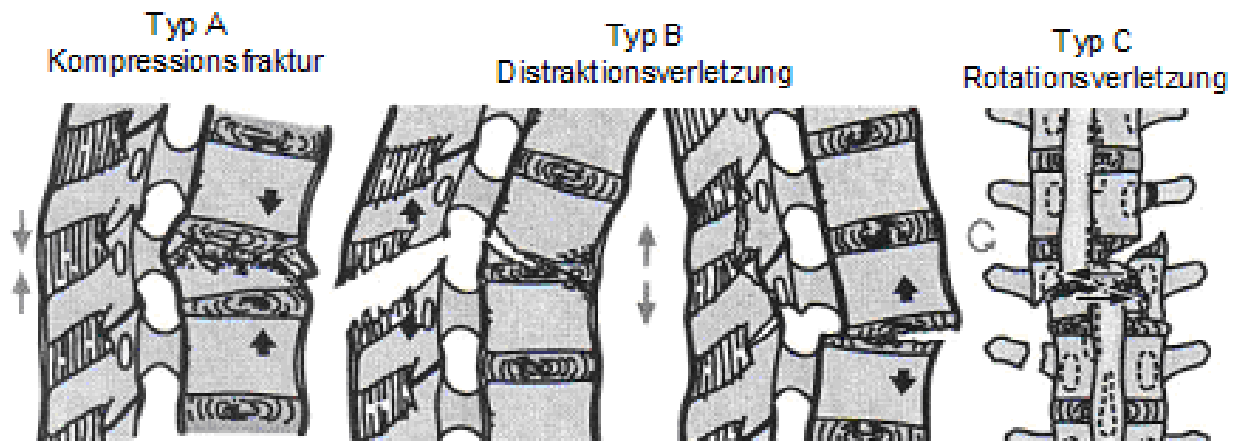


Abb. 1: Einteilung der thorakolumbalen Wirbelfrakturen (modifiziert nach Wirth und Zichner, 2004)

Darstellung der drei Typen der Rumpfsäulenfrakturen, Kompressionsfraktur (Typ A), Dislokationsverletzung (Typ B) und Rotationsverletzung (Typ C). Verletzungen des Typs B treten in den meisten Fällen zusammen mit Typ A Verletzung auf, Typ C besteht immer aus einer Rotation in Kombination mit Verletzungen des Typs A oder B (Margerl et al., 1994)

Darin wird mit zunehmender Instabilität von A nach C systematisch differenziert, wonach man sich wiederum an dem „2-Säulen-Modell nach Whitesides“ (1977) orientiert. Die isolierten Quer- und Dornfortsatzfrakturen bleiben dabei unberücksichtigt (Whitesides, 1977).

Somit betreffen A-Frakturen den Wirbelkörper und damit die auf Kompression belastete ventrale Säule, wohingegen sich B- und C-Verletzungen auf beide Säulen beziehen. Dabei ist der Mechanismus bei Typ B durch eine Flexion/Distraktion gekennzeichnet und Typ C durch eine rotatorische Instabilität.

Gonschorek und Bühren (2006) beschreiben die Läsionen wie folgt:

- Typ A-Verletzungen

Diese Verletzungen betreffen die vordere Säule und werden weiter unterteilt in Impaktions- (A1), Spalt- (A2) und Berstungsbrüche (A3).

- A1-Frakturen besitzen eine intakte Hinterkante und meist nur eine geringgradige Keilwirbelbildung. Gehäuft kommen sie bei jüngeren Menschen als A1.2 und bei Älteren als osteoporotische Fraktur vom Typ A1.3 vor. Mit 35% ist die A1-Fraktur insgesamt die häufigste Frakturform (siehe Abb. 2).

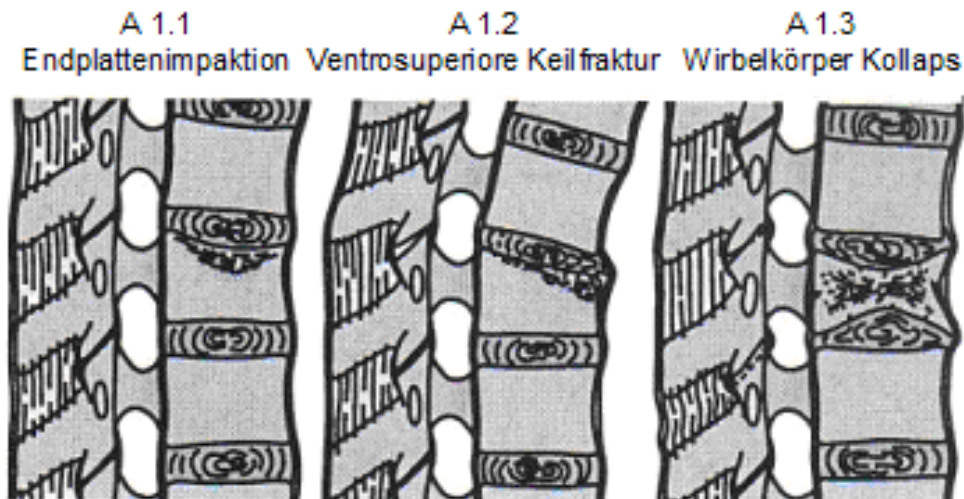


Abb. 2: A1-Frakturen: vordere Säule (modifiziert nach Wirth und Zichner, 2004)

- A2-Frakturen beinhalten eine Spaltbildung in sagittaler oder koronarer Richtung. Erwähnenswert ist hier die Pinzer-Fraktur A2.3 oder auch Kneifzangenbruch

genannt. Hier wirken die beiden benachbarten Wirbelkörper wie eine Kneifzange und spalten Grund- und Deckplatte, wobei die Bandscheibe zerstört wird (siehe Abb. 3).

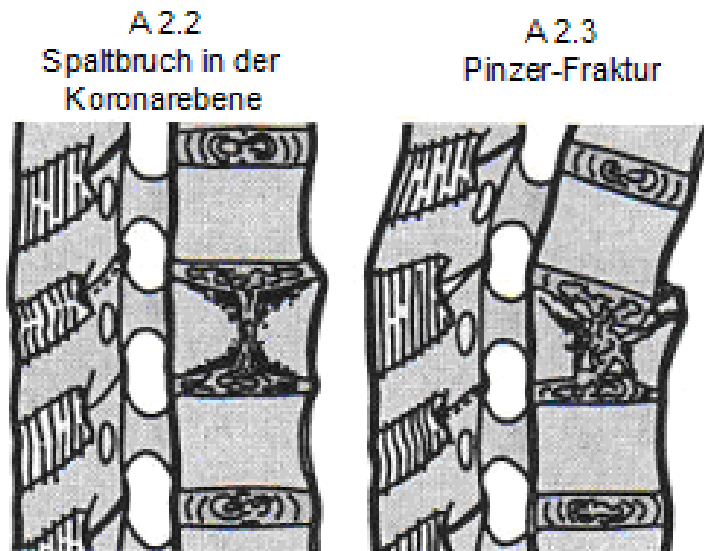


Abb. 3: A2-Frakturen: Spaltbildung (modifiziert nach Wirth und Zichner, 2004)

- o A3-Frakturen (Berstungsbruch) werden unterteilt in eine inkomplette (A3.1) oder komplette (A3.3) Form. Bei der A3.1-Verletzung bleibt die Hälfte des Wirbelkörpers (in der Regel die Grundplatte) intakt, während bei der A3.3-Verletzung der Wirbelkörper komplett destruiert ist (Abb.4). Sie stellt die häufigste operationspflichtige Frakturform mit etwa 25% aller Brüche dar.

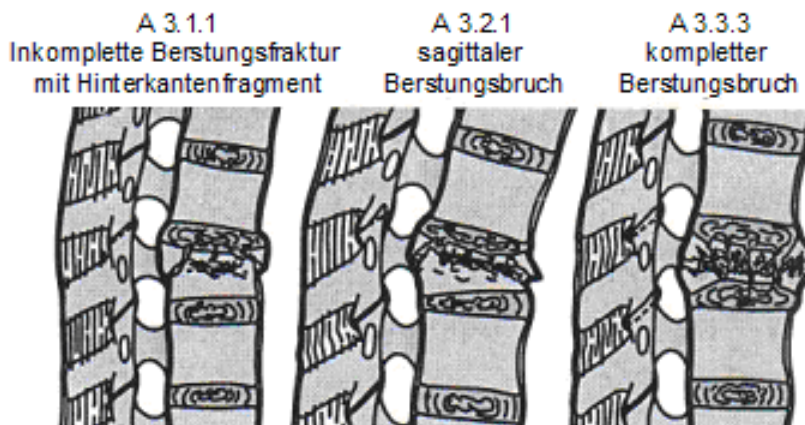


Abb. 4: A3-Frakturen: Berstungsbruch (modifiziert nach Wirth und Zichner, 2004)

- Typ B-Verletzungen

Diese Gruppe wird ebenfalls nach dem biomechanischen Pathomechanismus unterteilt, welcher bei B1 und B2-Frakturen aus einer Kombination aus Flexion und Distraction und bei B3-Frakturen aus einer Hyperextension besteht.

- B1-Verletzungen wirken dorsal auf die ligamentären Strukturen. Liegt eine Kombination mit ventraler Verletzung der Bandscheibe vor, spricht man von einem B1.1-Typ, bei Kombination mit einer A-Fraktur des Wirbelkörpers von einem B1.2-Typ (Abb. 5).

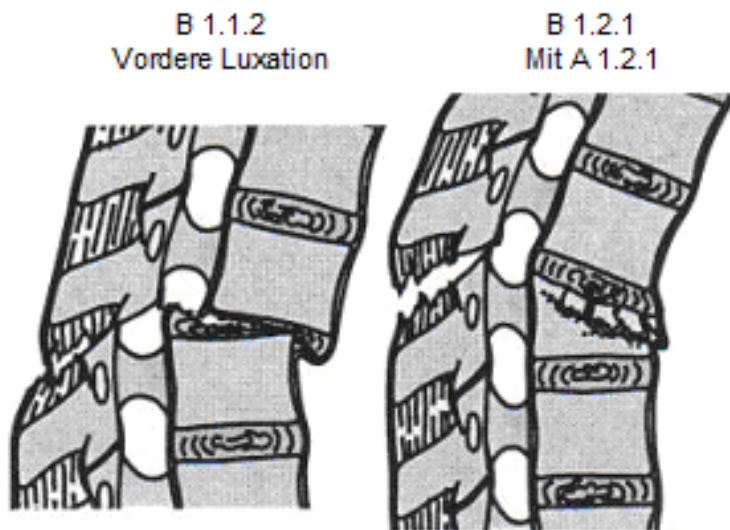


Abb. 5: B1-Frakturen: dorsale, ligamentäre Verletzungen (modifiziert nach Wirth und Zichner, 2004)

- B2-Verletzungen involvieren dorsal die knöchernen Strukturen. Zu erwähnen ist hier als Sonderform die Chance-Fraktur (B2.1), bei der sich die dorsale knöchernerne Verletzung über die Bögen nach ventral ohne größere Destruktion im Wirbelkörper erstreckt. Hier spricht man bei ventraler Beteiligung der Bandscheibe von einem
 - B2.2-Typ, bei Kombination mit einer A-Fraktur des Wirbelkörpers von einem B2.3-Typ (Abb.6).

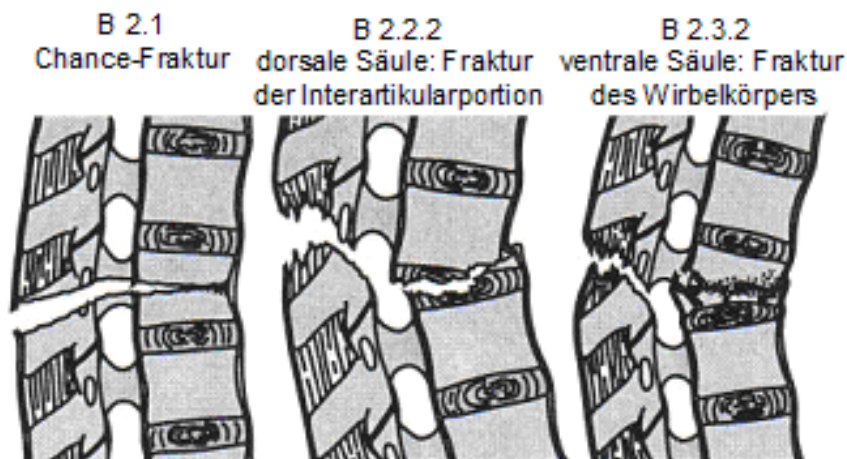


Abb. 6: B2-Frakturen: dorsale, knöchernerde Verletzungen (modifiziert nach Wirth und Zichner, 2004)

- B3-Verletzungen werden durch eine Hyperextension verursacht und sind selten. Sie können rein diskoligamentär (B3.1), mit einer dorsalen Spondylolyse (B3.2) oder als dorsalen Dislokation (B3.3) vorkommen. Die zuletzt genannte B3.3-Fraktur stellt neben den C-Verletzungen eine der schwerwiegendsten Wirbelsäulenverletzungen überhaupt dar, nicht selten mit einer Querschnittssymptomatik (Abb. 7).

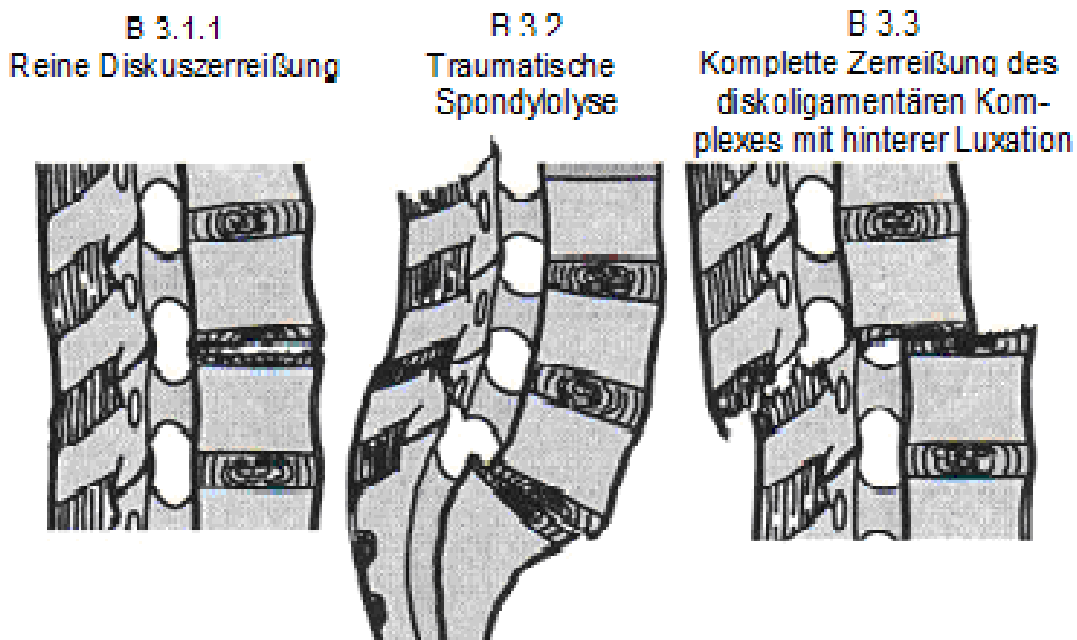


Abb. 7: B3-Frakturen: Hyperextensionsverletzung (modifiziert nach Wirth und Zichner, 2004)

- Typ C-Verletzungen

Die komplexesten Wirbelsäulenverletzungen beinhalten eine rotatorische Dislokations- und Instabilitätskomponente. Ursächlich sind oft Hochrasanztraumata mit einem hohen Anteil an Begleitverletzungen bzw. Polytraumatisierten. Aufgrund der hochgradigen Instabilität werden diese Frakturformen praktisch ausnahmslos operativ behandelt.

Bei einer Kombination mit einer Typ A-Verletzung klassifiziert man dies als C1 (siehe Abb 8), mit Beteiligung einer Typ B-Verletzung als C2 (siehe Abb. 9) und mit Beteiligung einer Rotations-/ Scherverletzung als C3 (Holdsworth-Slice-Fraktur, C3.1) (Gonschorek und Bühren, 2006).

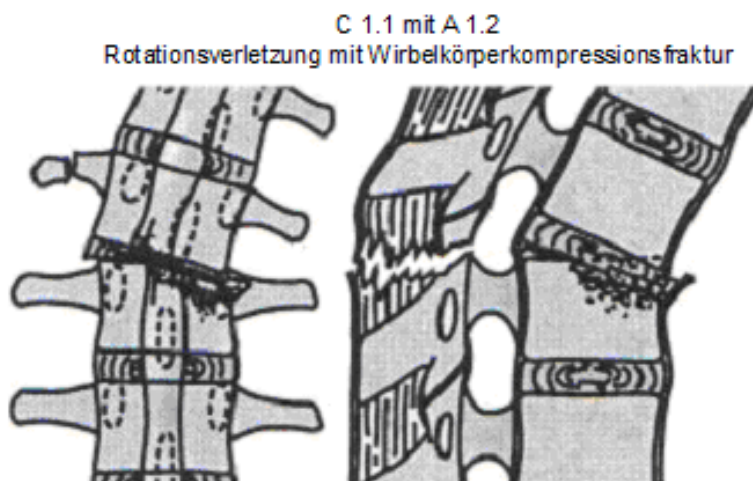


Abb. 8: C1-Fraktur: Rotationsverletzung mit Wirbelkompressionsfraktur (modifiziert nach Wirth und Zichner, 2004)

C 2.2.1 mit B 1.1.2
Rotationsverletzung mit Distraktionskomponente

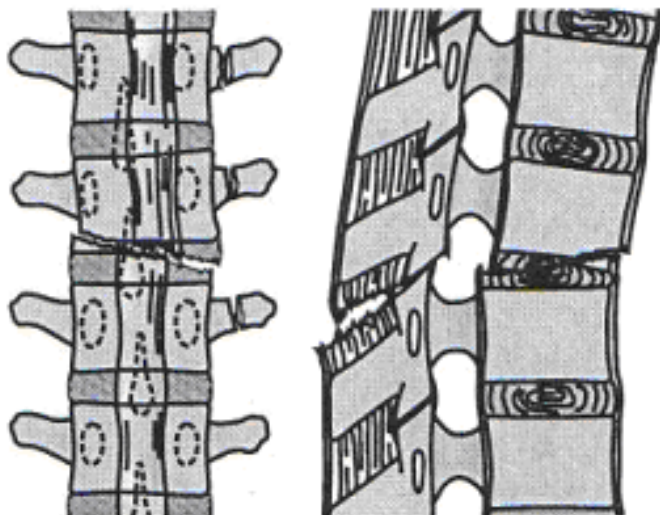


Abb. 9: C2-Fraktur: Rotationsverletzung mit Distraktionskomponente (modifiziert nach Wirth und Zichner, 2004)

C 3.1
Rotationsverletzung mit lateraler Abscherung
(Holdsworth-Fraktur)

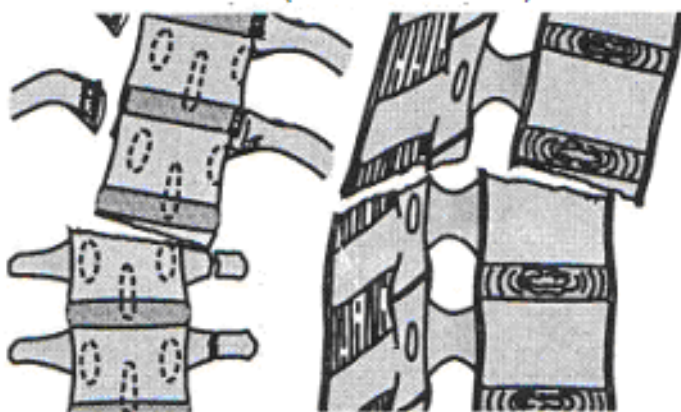


Abb. 10: C3-Fraktur: Rotationsverletzung mit lateraler Abscherung (modifiziert nach Wirth und Zichner, 2004)

1.1.3 Klinik

Das vorherrschende Symptom einer frischen Wirbelfraktur ist der Rückenschmerz. Die Patienten liegen steif auf dem Rücken und können sich wegen der heftigen Schmerzen nicht bewegen. Patienten berichten regelmäßig über initial starke, stechende lokale Schmerzen, die gürtelförmig bis nach ventral ausstrahlen. Liegt eine Fraktur der Brustwirbelsäule vor, dann können die Schmerzen in den Brustkorb, bei Frakturen der oberen Lendenwirbelsäule in den Unterbauch oder das kleine Becken ausstrahlen. Diese Schmerzen werden von den Patienten als im Verlauf langsam abnehmend beschrieben, bevor sich häufig ein unter Belastung akzentuierter Spannungsschmerz entwickelt, der über den ganzen Rücken ausstrahlt. Bei einem erneuten Wirbelbruch kann dieser diffuse Spannungsschmerz vorübergehend wieder akut auftreten (Heini und Orlor, 2004).

1.1.4 Anamnese

Den wichtigsten Hinweis auf eine Wirbelkörperverletzung gibt die Anamnese. Neben dem Erfragen des Beginns der Beschwerden ist der möglichst genaue Unfallhergang oder Unfallmechanismus zu eruieren. Bei bewusstlosen Patienten oder Patienten mit retrograder Amnesie können Angehörige oder Personen, die das Unfallgeschehen verfolgten, wertvolle Informationen geben. Aber auch Hinweise auf frühere Wirbelsäulenverletzungen oder existierenden Wirbelsäulenerkrankungen, sowie die regelmäßige Medikamenteneinnahme sollten hinterfragt werden (Müller et al., 2008).

1.1.5 Klinische Untersuchung

Der klinischen Beurteilung kommt ein großer Stellenwert zu, da das Frakturrisiko nach diagnostischen Parametern nur schwer eingeschätzt werden kann. Somit ist eine exakte klinische Untersuchung unabdingbar, um die vorläufige Diagnose eines Wirbelkörperbruchs zu erhärten. Dabei liegt vor allem neben dem Lokalbefund das Augenmerk auf

der Suche nach Begleitverletzungen und Verletzungszeichen wie Kontusionsmarke, Fehlstellungen oder Stufenbildung. Der Verletzte muss dazu, unter der Voraussetzung, dass keine neurologischen Ausfälle vorliegen, und auch sonst keine Hinweise für eine hochgradige Instabilität existieren, auf die Seite gelegt und der gesamte Wirbelsäulenbereich inspiziert werden. Beim Beklopfen der einzelnen Wirbelkörper mit den Fingern wird ein deutlicher umschriebener Schmerz angegeben, der auch durch kurzen Druck auf den Kopf ausgelöst werden kann. Wegen der unmittelbaren Nähe zwischen Wirbelkörper und Spinalkanal ist eine gründliche neurologische Untersuchung unumgänglich. Neben der Prüfung der Motorik, Sensibilität und Reflexe nach dem Schema von Frankel aus dem Jahre 1969 darf auch die Kontrolle des Sphinktertonus nicht fehlen (Frankel et al., 1969) (siehe Anhang). Der Befund ist zeitnah zu dokumentieren.

Doch nur in den wenigsten Fällen kann man nach der klinischen Untersuchung eine Wirbelsäulenverletzung sicher ausschließen. So ist bei Verdacht auf eine Fraktur eine Bildgebung unabdingbar, um danach die Verletzung klassifizieren zu können (Müller et al., 2008).

1.1.6 Bildgebende Diagnostik

Die bildgebende Diagnostik hat bei der Entdeckung von Wirbelsäulenfrakturen einen großen Stellenwert, da ohne ihre Anwendung diese oft übersehen werden (Lange et al., 2007; Madert und Eggers, 2008). Indikationen und Durchführung der bildgebenden Diagnostik bei Wirbelsäulentraumen publizierte Rieger im Jahre 2006 (Rieger et al., 2006). Die bildgebende Diagnostik bei Wirbelsäulenverletzungen besteht in erster Linie aus

- dem konventionellen Röntgen,
- der Computertomographie (CT) oder
- der Magnetresonanztomographie (MRT)

1.1.6.1 Konventionelles Röntgen

Bei Patienten mit niedriger Unfallschwere und klarem Bewusstsein sind zunächst konventionelle Röntgenaufnahmen der betroffenen Region in der anterior-posterior und der seitlichen Ebene indiziert. Bei Verletzungen der HWS ist zusätzlich eine transorale Densaufnahme dringend erforderlich. Falls diese erste Aufnahme nach HWS-Trauma keinen Frakturhinweis erbracht hat, schließen sich zum Ausschluss diskoligamentärer Verletzungen regelmäßig Funktionsaufnahmen an (Müller et al., 2008).

1.1.6.2 Computertomographie (CT)

Bei Patienten mit Hinweisen auf Begleitverletzungen, Bewusstseinsstörung oder Hochrasanztrauma geht man im Rahmen der Schockraumdiagnostik nach den Vorgaben des „advanced trauma life support“ (ATLS) vor. Danach wird neben einer lateralen Aufnahme der HWS ein anschließendes CT-Screening durchgeführt. Hierbei erfolgt die CT-Diagnostik der gesamten Wirbelsäule mit multiplanaren Rekonstruktionen (Müller et al., 2008).

1.1.6.3 Magnetresonanztomographie (MRT)

Bei neurologischen Ausfällen des Patienten, die bei der CT-Diagnostik keine Spinalkanalkompromittierung erkennen lassen, schließt sich die Magnetresonanztomographie der primären Diagnostik an, um die Ursache zu explorieren (Müller et al., 2008).

1.1.7 Therapie der Brust- und Lendenwirbelsäulenfrakturen

Das therapeutische Vorgehen hängt besonders von der Stabilität der Wirbelsäulenverletzung ab. Ziel der Behandlung ist, die morphologiegerechte Struktur langfristig wieder herzustellen sowie die protektive Funktion der Wirbelsäule für das Rückenmark zu sichern (Gonschorek und Bühren, 2006).

Bei A1- und A2-Frakturen geht man in der Regel von stabilen Verletzungen aus, die konservativ behandelt werden können. Dies beinhaltet typischerweise eine frühfunktionelle Therapie mit Mobilisation unter Analgesie (Müller et al., 2008).

Dennoch besteht die Gefahr einer sekundären Kyphosierung unter der konservativen Therapie, so dass Josten in seiner Publikation von 2005 bei jungen Menschen mit A1.2-Fraktur und initialer Kyphose von 15 Grad eine ventrale, monosegmentale Fusion vorschlägt. Ansonsten würde dies vorzeitig eine Degeneration der Bandscheibe und eine Spondylarthrose begünstigen (Josten et al., 2005).

Ebenfalls betroffen von der sekundären Kyphosierung sind ältere Menschen mit osteoporotischer Knochenstruktur. Anfangs besteht bei diesen Patienten definitionsgemäß eine „stabile“ A1-Fraktur mit geringem Wirbelkörperhöhenverlust, doch im Verlauf bildet sich auf Grund der Kyphosierung ein Rundrücken, wobei der Körperschwerpunkt weiter nach vorn verlagert wird und somit sich die Belastung der Wirbelkörpervorderkante zusätzlich erhöht. Dies begünstigt das Risiko für weitere Wirbelkörperfrakturen. In diesem Fall ist ebenfalls eine operative Intervention angezeigt, bei der am ehesten eine minimal-invasive Kyphoplastie mit ballonkathetergestützter Wiederaufrichtung des Wirbelkörpers und anschließender Zementaugmentation zum Einsatz kommt (Müller et al., 2008).

Die Versorgung der B- und C-Verletzungen an der thorakolumbalen Wirbelsäule bedürfen wegen ihrer hochgradigen Instabilität eines operativen Eingriffes. In den meisten Fällen erfolgt diese als dorsoventrale Instrumentierung mit einem transpedikulär eingebrachten Schrauben-Stab-System. Obwohl bei Berstungsfrakturen des jüngeren Menschen eine kurzstreckige, monosegmentale Instrumentierung in Frage kommt, hat sich doch die bisegmentale dorsale Instrumentierung durchgesetzt. Dies ist vor allem notwendig bei einer deutlich osteoporotischen Knochenqualität. Hier kann auch eine

Zementaugmentation der Pedikelschrauben notwendig werden. In Kadaverstudien konnte gezeigt werden, dass dadurch die Ausrisskraft der Pedikelschrauben um bis zu 255% erhöht wurde (Burval et al., 2007; Müller et al., 2008).

Zur Stabilisierung wird bei der ventralen Versorgung ein autologer Knochenspan vom Beckenkamm, ein Cage und/oder eine ventrale Platte verwendet. Heutzutage wird besonders beim bisegmentalen ventralen Vorgehen der Cage aufgrund der technischen Verbesserung des Instrumentariums zunehmend bevorzugt. Auch das fehlende Morbiditätsrisiko der Spanentnahme ist von Bedeutung. Bei Vorliegen einer isolierten Verletzung der hinteren Säule ist in Ausnahmefällen eine dorsale Instrumentierung ausreichend (Müller et al., 2008).

Keine Einigkeit besteht darin, ob die isolierte Berstungsfraktur (A3) als stabile oder instabile Fraktur angesehen wird und damit die Indikation zur operativen Stabilisierung gegeben ist.

In der deutschsprachigen Literatur gelten die Berstungsfrakturen als instabile Frakturen und benötigen eine dringliche dorsale Instrumentierung und anschließende (elektive) ventrale Abstützung (Gonschorek und Bühren, 2006).

1.2 Osteoporose

In den USA wurde die Osteoporose im Jahr 2001 als systemische Skeletterkrankung definiert, die sich mit einer mangelnden Knochenfestigkeit und dem damit erhöhten Frakturrisiko darstellt (NIH 2001). Sind bereits eine oder mehrere Frakturen als Folge der Osteoporose aufgetreten, spricht man von einer manifesten Osteoporose (Kanis und Gluer, 2000). Die erhöhte Brüchigkeit des Knochens und die Veränderung der Knochenarchitektur werden verursacht durch den progressiven Verlust des Mineralgehalts des Knochens (Riggs und Melton, 1986).

1.2.1 Ätiologie und Pathogenese

Der Wirbelkörper besteht aus einem festen kortikalen Anteil und einem metabolisch aktiven, trabekulären Anteil. Die Osteoblasten und Osteoklasten sind gemeinsam an den Umbauprozessen in den Trabekeln beteiligt und mitverantwortlich für die permanente Umgestaltung des Knochens. Eine Kehrtwende der Knochenneugestaltung findet bei einem Individuum um dessen 30. Lebensjahr statt, wonach mit einem kontinuierlichen Knochenverlust von etwa 3- 5% pro Jahrzehnt zu rechnen ist (WHO 1994).

Dieser Knochenverlust ist assoziiert mit der Osteoporose, die sich in einer Reduktion von Anzahl, Stärke und Verbindungsflexibilität der Trabekel auszeichnet (Weinstein und Majumdar, 1994; Parfitt, 1992). Histologisch sind eine Rarefizierung der Trabekel und eine Ausdünnung der Kortikalis erkennbar (Raisz, 2005b). Aufgrund dessen wird der osteoporotische Knochen immer instabiler, welches eine eventuelle Fraktur mit relativ geringem Trauma begünstigt (Heaney, 1992). Die trabekuläre Ausdünnung mit resultierendem Knochenverlust betrifft im Alter generell beide Geschlechter, wobei Frauen von dem trabekulären Verlust in einem größeren Ausmaß betroffen sind (Mellish et al., 1989).

Physiologischerweise ist die Knochenumwandlung im Alter verändert und kann zusätzlich durch Hormone, Medikamente, Erbkrankheiten und Lebensgewohnheiten beeinflusst werden (Rao und Singrakhia, 2003). Epidemiologischen Daten aus dem

Jahre 2000 zufolge wird die Anzahl von Menschen, die von osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen und ihren Folgen betroffen sind, für Deutschland mit zwei Millionen Frauen und 800.000 Männern sowie für die USA mit mehr als 20 Millionen Menschen angegeben (Klotzbuecher et al., 2000). Die Inzidenz neu aufgetretener Wirbelkörperfrakturen bei über 50 Jahre alten Personen wird nach den Auswertungen der „European Prospective Osteoporosis Study“ für Männer mit 5,7 und für Frauen mit 10,7 pro 1000 Patientenjahre beziffert (EPOS 2002). Die Osteoporose gilt heute als eine der häufigsten Ursachen adulter Deformitäten (Kim und Vaccaro, 2006).

1.2.2 Einteilung

Bei der Osteoporose wird zwischen einer primären und einer sekundären Form differenziert. Von der primären Osteoporose werden sekundäre Formen abgegrenzt, bei denen eine einzelne oder mehrere Ursachen für die Entstehung der Osteoporose oder zumindest für einen maßgeblichen Teil verantwortlich sind. Diese Abgrenzung ist wichtig, da viele Empfehlungen zur Diagnostik und Therapie der primären Osteoporose nur bedingt übertragbar sind. Dennoch liegen in vielen Fällen Überschneidungen der primären und sekundären Osteoporose vor, welches eine genaue Zuordnung schwierig macht.

1.2.2.1 Die primäre Osteoporose

Die primäre Osteoporose nimmt mit 95 % den größten Anteil ein und wird folgendermaßen unterteilt:

- Postmenopausale (Typ I Osteoporose),
- Senile (Typ II Osteoporose),
- Idiopathische Osteoporose junger Menschen.

1.2.2.1.1 Postmenopausale Osteoporose

Die Gruppe der postmenopausalen Osteoporose stellt den größten Anteil der betroffenen Patienten. Verursacht wird dieser durch ein Östrogendefizit, dessen Schweregrad eine wichtige Determinante des Knochenverlustes bei Frauen nach der natürlichen Menopause darstellt. Es konnte gezeigt werden, dass ein Östrogendefizit zu einer gesteigerten Knochenresorption führt (Pietschmann und Peterlik, 1999).

1.2.2.1.2 Senile Osteoporose

Primäre Osteoporoseformen, die sich nach dem 70. bis 75. Lebensjahr entwickeln, werden als senile Osteoporoseformen („Typ-2-Osteoporose“) bezeichnet. Pathogenetisch wird ein Vitamin-D-Mangel diskutiert, der verursacht sein könnte durch eine verminderte Sonnenexposition, eine einseitige Ernährung oder auch durch eine verminderte Nierenfunktion (Pietschmann und Peterlik, 1999).

Ein Zusammenhang zwischen progredienten Alter und Osteoporose mit einer resultierenden steigenden Anzahl osteoporotisch bedingter Wirbelkörperfrakturen konnte mehrfach nachgewiesen werden (Heyde et al., 2008).

1.2.2.1.3 Idiopathische Osteoporose

Von einer idiopathischen Osteoporose spricht man, wenn trotz umfangreicher Labordiagnostik keine eindeutige Ursache identifiziert werden konnte. Dies betrifft etwa 40% aller Männer mit Osteoporose und etwa ein Drittel aller Frauen mit prämenopausaler Osteoporose. Die Osteoporose ist in diesem Fall meist mit einer ausgeprägten familiären Prädisposition assoziiert (Ebeling, 2008).

1.2.2.2 Sekundäre Osteoporose

Die sekundäre Osteoporose ist seltener (5% aller Erkrankten) und wird hervorgerufen durch:

- Hormone (endokrinologische Ursachen)
- Gastroenterologischen Ursachen
- Immobilisation
- Medikamente

Aber auch neoplastische, hereditäre oder entzündliche Erkrankungen können die Osteoporose begünstigen (Därr et al., 2008). Die sekundäre Osteoporose stellt hierbei ein zusätzliches Risiko für osteoporotische Frakturen dar. Das Gesamtrisiko wird zusätzlich durch Alter, Geschlecht und Vorfrakturen beeinflusst (Pfeilschifter, 2008).

Besonders folgende endokrinologische Erkrankungen sollten gezielt untersucht werden, da sie eine spezielle Labordiagnostik und eine kausale Therapie der Osteoporose benötigen:

- Cushing-Syndrom,
- männlicher Hypogonadismus,
- vorzeitige Menopause,
- Hyperthyreose,
- Diabetes mellitus (Jakob, 2007; Ebeling, 2008).

Bei einer Osteoporose sollte aber auch nach Anzeichen einer Niereninsuffizienz, Leberzirrhose oder Cholestase als mögliche Ursachen gesucht werden. Eine systemische Osteoporose ist häufig mit Morbus Crohn, Colitis ulcerosa oder Zöliakie, aber auch mit rheumatoider Arthritis und Anorexia nervosa assoziiert. Von besonderer Bedeutung sind davon jene Erkrankungen, die mit osteoporosefördernden Medikamenten therapiert werden (Ebeling, 2008). Zu den Medikamenten mit ähnlichen Eigenschaften zählen neben Glukokortikoiden, die Immunsuppressiva Cyclosporin und Tacrolimus, aber auch Antikonvulsiva und hormonablative Therapieverfahren. Darüber

hinaus wurden diese Nebenwirkungen beim Einsatz von Aromatase-Inhibitoren wie z. B. bei Mamma- oder Prostatakarzinomen oder bei der Anwendung von Pioglitazon bei Diabetes mellitus beschrieben. Zusätzlich fördert die Gabe von Heparin die Entstehung einer Osteoporose (Ebeling, 2008; Hadji et al., 2008; Jakob, 2007).

1.2.3 Anamnese

Das Risiko einer Osteoporose kann bereits durch die Anamnese und klinische Untersuchung eingeschätzt werden. Folgende Fragen sollten explizit an den Patienten gestellt werden (Därr et al., 2008):

- Liegt in Ihrer Familie eine Osteoporose bei Verwandten ersten Grades vor?
- Haben Sie bereits eine Fraktur erlitten?
- Haben Sie seit dem 30. Lebensjahr mehr als 4 cm an Körpergröße verloren?
- Nehmen Sie osteoporosefördernde Medikamente (z. B. Glukokortikoide) ein?
- Besteht aktuell ein Nikotin- oder Alkoholabusus?
- Haben oder hatten Sie Untergewicht (Body Mass Index $<20 \text{ kg/m}^2$)?
- Ist Ihre Ernährung reich an Vitamin D und Kalzium?
- Sind Sie körperlich aktiv oder treiben Sie regelmäßig Sport?
- Wie oft und unter welchen Umständen stürzen Sie?
- Bei Frauen: Seit wann sind Sie in der Menopause? Bestand früher eine Amenorrhö?
- Bei Männern: Liegt ein Hypogonadismus vor?

1.2.4 Klinik

Während der klinischen Untersuchung sollte vor allem nach Zeichen von Wirbelkörperfrakturen und sekundären Osteoporose-Ursachen gesucht sowie das Sturzrisiko beurteilt werden (Därr et al., 2008). Patienten mit Osteoporose sind meist klinisch symptomfrei; erst bei begleitenden Wirbelkörperfrakturen werden

Rückenschmerzen in variabler Ausprägung beschrieben (Rosen, 2005). Bei der klinische Untersuchung sollte versucht werden durch vorsichtiges Beklopfen der betreffenden Dornfortsätze die Frakturlokalisierung zu orten und herausfinden, ob ein Stauchungsschmerz oder Rotationsschmerz an dieser Frakturstelle ausgelöst werden kann oder verstärkt wird (Kasperk et al. 2008). Klinische Zeichen einer osteoporotischen Wirbelkörperfraktur sind eine charakteristische Faltenbildung am Rücken, ein sogenanntes „Tannenbaum-phänomen“ oder eine verringerte Körpergröße um mehr als 4 cm. Weiterhin können ein verkürzter Rippen-Becken-Abstand und eine thorakale Hyperkyphosierung („Witwenbuckel“) auf eine Wirbelkörperfraktur hindeuten (Rosen, 2005; Jakob, 2007). Bei längeren, sitzenden Tätigkeiten wurden oft unerträgliche Schmerzen beschrieben (Gold, 1996).

Es kommt aufgrund der Symptomatik zu einem erhöhten Arzneimittelbedarf, zu häufigeren Arztkontakten und Krankenhausaufenthalten, zu inaktivitätsbedingten Komorbiditäten und zu einem Absinken des allgemeinen Aktivitätsniveaus (Pluijm et al., 2000). Schwerwiegende psychisch bedingte Erkrankungen können die Folge sein, gekennzeichnet u. a. durch Depressionen, Angst- und Beklemmungsgefühle (Adachi et al., 2002). Es kann zu einer Einschränkung der sozialen Kontakte und zu einer Verschlechterung der sozialen Stellung der betroffenen Patienten kommen (Gold, 1996). Darüber hinaus konnten mehrere Arbeitsgruppen eine erhöhte Ein- und Fünf-Jahres-Mortalität nach osteoporotischen Wirbelfrakturen sowohl bei Frauen als auch bei Männern nachweisen (Center et al., 1999; Cooper et al., 1993; Gold, 1996; Pluijm et al., 2000). Dagegen stellen rasch auftretende neurologische Komplikationen, wie Querschnittssymptome, bei der Osteoporose eher die Ausnahme dar. Ihr Auftreten kann auf eine pathologische Fraktur infolge von Skelettmetastasen hinweisen (Därr et al., 2008).

1.2.5 Diagnostik

Eine Schwierigkeit in der Diagnostik von osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen ist, dass die Betroffenen den Zwischenfall oft nicht wahr- oder nicht ernst genug nehmen. So geschieht es, dass es in der Mehrzahl der Fälle zu einer verspäteten

Diagnosestellung kommt oder ein großer Teil (etwa 30%) solcher Frakturen überhaupt nicht diagnostiziert werden (Pluijm et al., 2000). Somit ergibt sich eine hohe Dunkelziffer osteoporotischer Frakturen der Wirbelkörper, denen eine adäquate Therapie vorenthalten bleibt (Jakob, 2007). Dies ist von besonderer Bedeutung, da das Risiko nachfolgende Frakturen zu erleiden, allein im nachfolgenden Jahr um den Faktor 5–7,4 und das Vorliegen einer weiteren vertebraalen Fraktur zum Untersuchungszeitpunkt um das zwei- bis vierfache erhöht ist (Lindsay et al., 2001).

1.2.5.1 Labordiagnostik

Um sekundäre Ursachen der Osteoporose auszuschließen, nimmt die Labordiagnostik (siehe Tab. 2) eine zentrale Rolle ein, für die Diagnose einer Osteoporose ist sie praktisch entbehrlich (Jakob, 2007). Der Dachverband der Osteologie (DVO) empfiehlt 2006 in seinen S3-Leitlinien lediglich ein Basisprogramm (Pfeilschifter, 2006).

Laborwert	Als Hinweis auf:
BSG oder C-reaktives Protein	Systemischer Infekt, Autoimmunerkrankung, Myelom
Kleines Blutbild	Hämatologische Grunderkrankungen, Myelom
Serumkalzium und -phosphat	Primären Hyperparathyreoidismus
Kreatinin	Niereninsuffizienz
Alkalische Phosphatase (isoliert)	Osteomalazie
γ -GT (isoliert)	Alkoholabusus
Basales TSH	Hyper- bzw. Hypothyreose
Serumproteinelektrophorese	Myelom, MGUS

Tab. 2: Labordiagnostik (in Anlehnung an Pfeilschifter, 2006)

Sollten diese Befunde suspekt erscheinen oder pathologischen Ergebnissen liefern, wird eine Spezialdiagnostik üblicherweise durch den Spezialisten empfohlen. Besonders

endokrine Ursachen einer Osteoporose lassen sich dadurch ausschließen (Ebeling, 2008).

Laborwert	Als Hinweis auf:
Serum-25-OH-Vitamin D ₃	Osteomalazie
Antikörper gegen Gewebstransglutaminase	Zöliakie
Intaktes Parathormon im Serum	Primären Hyperparathyreoidismus
Gesamttestosteron im Serum	Hypogonadismus
Prostata-spezifisches Antigen	Prostatakarzinom
Serumcortisol nach Dexamethasonsuppression	Cushing-Syndrom
Serumtryptase	Systemische Mastozytose
Kalziumexkretion im Urin	(Familiäre) Hyperkalziurie

Tab. 3: Spezielles Laborprogramm bei Osteoporose (in Anlehnung an Pfeilschifter, 2006)

1.2.5.2 DXA -Knochendichtemessung/ Osteodensitometrie

Heute stellt der „Dual energy X-ray Absorptiometry“ (DXA) die Methode der Wahl zur Diagnostik der Osteoporose dar. Die Knochenmineralmasse wird aus der Abschwächung der Röntgenstrahlung auf der Basis einer Kalibrierung mit weichteil- und knochenäquivalentem Material errechnet. Der absolute Wert wird als Flächendichte in g/cm² angegeben und dann als Standardabweichungen zu einer Referenzpopulation gesetzt (Därr et al., 2008).

Definitionsgemäß nach der WHO aus dem Jahre 1994 liegt eine Osteoporose dann vor, wenn der Knochenmineralgehalt in einer DXA-Knochendichtemessung an der Lendenwirbelsäule und/oder am proximalen Femur (Gesamtareal oder Schenkelhals) um mehr als -2,5 Standardabweichung vom Mittelwert einer 30-jährigen Frau abweicht (WHO 1994).

Dieser Mittelwert im Vergleich mit einem jungen Referenzkollektiv ergibt den sog. T-Score, der Vergleich mit der altersentsprechenden Population den Z-Score (siehe Abb.11).

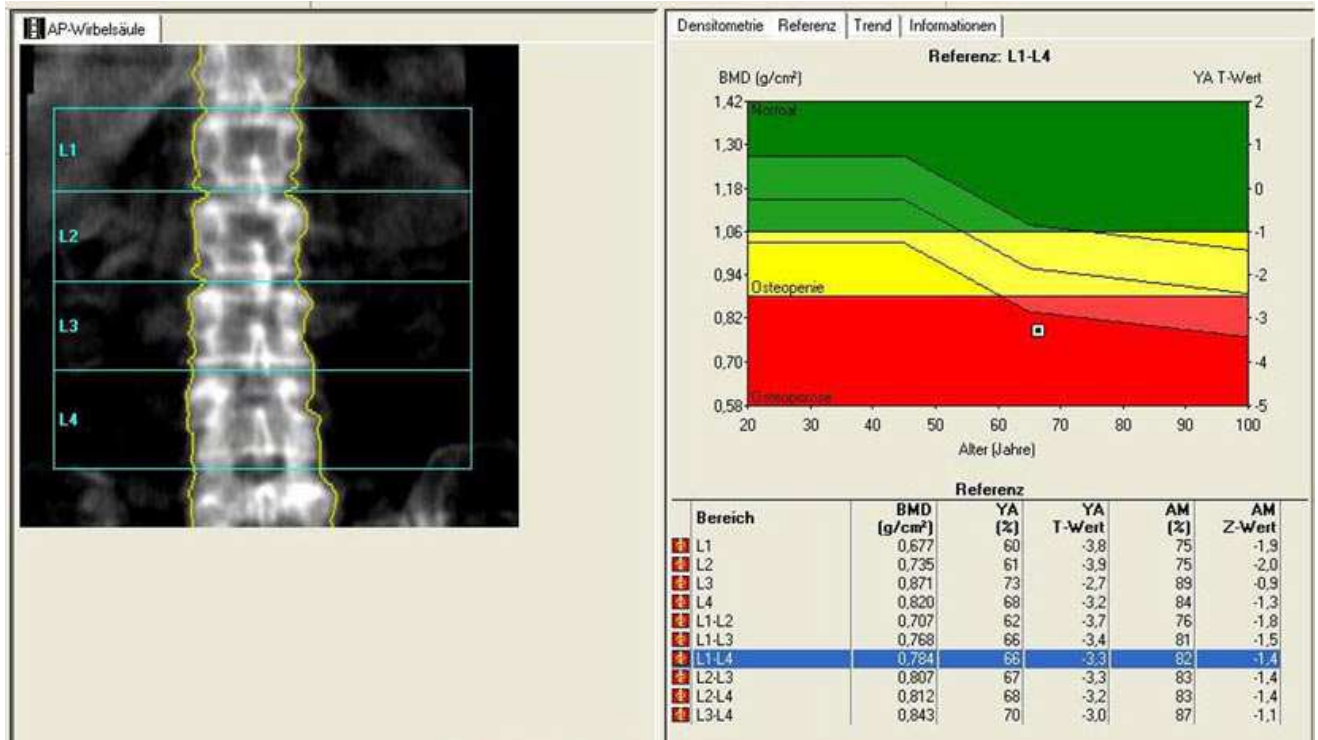


Abb. 11: Osteodensitometrie mittels Dual Energy X-ray Absorptiometry (DXA) (Därr et al., 2008)

Mit Hilfe der DXA kann man die Knochendichte überprüfen und beurteilen, ob in Abhängigkeit von bestehenden Risikofaktoren eine spezifische, medikamentöse Therapie erforderlich ist (Pfeilschifter, 2006). Die bei Osteoporose erniedrigte Knochendichte stellt einen starken und unabhängigen Risikofaktor für Frakturen dar und erlaubt eine Abschätzung des Frakturrisikos (Fogelman und Blake, 2005; Raisz, 2005a). Vorteile der Knochendichtemessung stellen die kurzen Untersuchungszeiten, die gute räumliche Auflösung, eine hohe Präzision, eine internationale Standardisierung und die geringe Strahlenbelastung (0,5–30 μ Sv pro Messung) dar. Artefakte können jedoch verursacht werden durch Frakturen, Aortenverkalkungen, Weichteilverkalkungen oder Spondylarthrosen, die vor allem bei älteren Menschen durch erhöht gemessene Knochendichtewerte zu Fehlinterpretationen führen (Därr et al., 2008).

Aus den beiden niedrigsten ermittelten T-Werten der DXA-Messungen von der Lendenwirbelsäule und am Gesamtfemur wird nach der DVO-Leitlinie das Zehn-Jahres-Frakturrisikos abgeschätzt. So spricht man laut Definition der WHO bei einem T-Score bis $-1,0$ von einem Normalbefund, zwischen -1 und $-2,5$ von einer Osteopenie und unterhalb von $-2,5$ von einer Osteoporose (Fogelman und Blake, 2005, Raisz, 2005). Neben der DXA- Knochendichtemessung verfügt man gegenwärtig zusätzlich über zwei weitere Verfahren, um die Knochenqualität zu beurteilen. Die quantitativen Ultrasonometrie (QUS) bietet eine röntgenstrahlenfreie Messmethode mit guten Ergebnissen und großer Akzeptanz in der Bevölkerung. Es fehlen jedoch Erfahrungen hinsichtlich des Therapiemonitoring, zudem treten Schwierigkeiten einer internationalen Standardisierung auf. Bei der quantitativen Computertomographie (QCT) der Wirbelsäule, der peripheren quantitativen Computertomographie (pQCT) am Radius sowie an der Tibia kann durch die hohe Präzision zwischen kortikalem und trabekulärem Knochen die tatsächliche physikalische Dichte präzise unterschieden werden. Dieses Verfahren stellt aber wegen hoher Anschaffungskosten, der hohen Strahlenbelastung und der zu geringen Verfügbarkeiten nicht die Methode der Wahl dar (Därr et al., 2008).

1.2.5.3 Bildgebende Verfahren

Es hat sich als sinnvoll erwiesen bei Verdacht auf Wirbelkörperfrakturen mit begleitenden Rückenschmerzen eine konventionelle Röntgenaufnahme der Brust- und Lendenwirbelsäule in zwei Ebenen zu veranlassen. Da die Beurteilung einer „strähnigen Zeichnung“ oder eines „Rahmenwirbels“ als subjektiv zu erachten ist, empfiehlt sich in der seitlichen Aufnahme die dorsale und ventrale Höhe eines Wirbelkörpers im Vergleich zu intakten Nachbarwirbeln zu messen (Jakob, 2007). Bereits eine Reduktion von mehr als 20% in der Höhe oder von mehr als vier Millimeter der Vergleichshöhe gilt als signifikant für eine Wirbelkörperfraktur (Raisz, 2005b; Rosen, 2005).

Im weiteren Verlauf kommt es typischerweise zu Verformungen der Wirbelkörper:

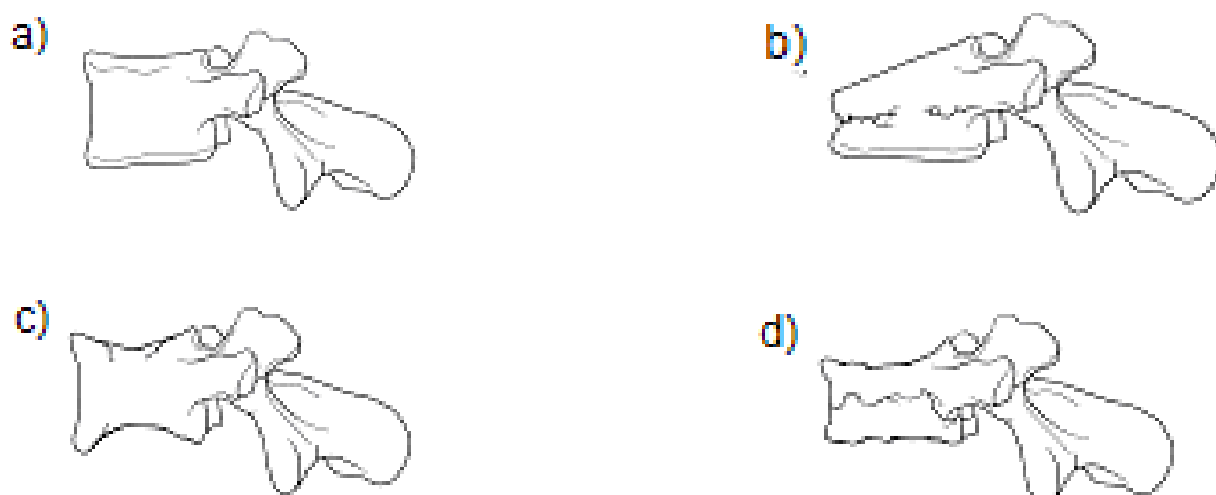


Abb. 12: Schematische Darstellung typischer radiologischer Befunde bei Osteoporose: a) normaler Wirbelkörper, b) Keilwirbel (wedge fracture), c) Fischwirbel (biconcave fracture), d) Plattwirbel (crush fracture) (modifiziert nach Rao und Singrakhia, 2003)

Bei neurologischen Komplikationen oder Malignomverdacht wird zu weiterführenden Untersuchungen mittels Computertomographie oder Magnetresonanztomographie geraten. Ebenso können diese vor größeren Interventionen sinnvoll sein. Die Skelettszintigraphie spielt in der Osteoporosedagnostik eine untergeordnete Rolle. Sie kommt differenzialdiagnostisch bei unklaren Befunden wie z. B. zum Ausschluss eines M. Paget oder von Knochenmetastasen zum Einsatz (Därr et al., 2008).

1.2.5.4 Knochenbiopsie

Die transiliakale Knochenbiopsie, die anschließend von einem erfahrenen Osteopathologen untersucht wird, ist meist nicht indiziert bei einer Osteoporose. Dennoch kann bei einem Verdacht auf infiltrative Prozesse, bei schwerer Osteoporose, nach pathologischen Frakturen oder bei der Osteoporose jüngerer Männer eine Knochenbiopsie weitere Erkenntnisse bringen. Eine seltene und meist erst durch eine Knochenbiopsie identifizierte Osteoporoseursache stellt die systemische Mastozytose dar (Kann et al., 2006).

1.2.6 Therapie von osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen

Die Ziele der Therapie von osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen beinhalten eine schnellstmögliche Schmerzreduktion, die Vermeidung von Folgefrakturen und eine schnellstmögliche Wiederherstellung oder zumindest Erhaltung der Mobilität (Blauth et al., 2000). Ein weiteres grundlegendes Therapieziel ist es, die Grundkrankheit Osteoporose zu kontrollieren, indem man versucht den Prozess der Knochenmassenreduktion aufzuhalten (Franck et al., 2003; Lane, 2006).

1.2.6.1. Konservative Therapie

Die konservative Therapie beinhaltet sowohl die Behandlung der Wirbelfraktur als auch die Behandlung der zugrunde liegenden Osteoporose. Im Wesentlichen besteht die Therapie aus einer ausreichend analgetischen Medikation, die sachgerechte medikamentöse Behandlung der Grundkrankheit Osteoporose, das Erlernen wirbelsäulengerechten Verhaltens und ggf. einer temporären Korsettbehandlung (Heini, 2005).

Um eine korrekte Haltung zu erzielen, wird heute vermehrt die Rückenmuskulatur trainiert, wohingegen das früher gebräuchliche „3-Punkt-Stützmieler“ einen Erinnerungseffekt leistet. Diese Mieler bedeuten aber einen erheblichen Kostenfaktor bei nur zweifelhaftem Nutzen (Gonschorek und Bühren, 2006). Voraussetzung für eine erfolgreiche, konservative Therapie stellt die Mobilisierbarkeit des Patienten dar. Dazu zählt die „medizinische Trainingstherapie“, die die Maßnahmen der Physiotherapie, der Rückenschule sowie der Sturzprotektion- und -prophylaxe darstellt (Bartl et al., 2003; Kates et al., 2007). Erhebliche Erleichterung bringt dem Patienten die Mobilisation im Bewegungsbad (Gonschorek und Bühren, 2006).

Früher wurden Wirbelsäulenverletzungen nach dem Prinzip der von Lorenz Böhler begründeten Schule des Prinzips „Einrichten–Ruhigstellen–Beüben“ therapiert, bei der eine Reposition im Durchhang erfolgte und anschließend in dieser Stellung ein Gipsmieler angepasst wurde. Dieses wurde dann für drei bis vier Monate getragen. Heute werden stabile A1- und A2-Frakturen ohne relevante Fehlstellung und

Instabilitätskriterien und wenn keine relevante Stenose auftritt, mit einer konservativen frühfunktionellen Behandlung therapiert (Heini, 2005). In der Mehrzahl der Fälle handelt es sich um osteoporotische Sinterungsfrakturen, die einen periostvermittelten Frakturschmerz hervorrufen. Dieser Schmerz klingt nach ca. sechs bis zwölf Wochen durch die Verfestigung des Wirbelkörpers unter konservativer Therapie ab (Kim und Vaccaro, 2006; Suk et al., 2003).

Ein obligatorischer Bestandteil der konservativen Therapie stellt die engmaschige klinische und radiologische Befundkontrolle dar, um ein mögliches Nachsintern der Fraktur und Anschlussfrakturen sicher zu erfassen (Heini, 2005; Gonschorek und Bühren, 2006).

Eine spezifische medikamentöse Therapie zur Behandlung der Osteoporose empfiehlt die DVO als Leitlinie unter Abwägung von Nutzen/Risiken- und Kostenüberlegungen unter folgenden Bedingungen:

- das auf der Grundlage der derzeit verfügbaren, epidemiologischen Daten geschätzte Zehn-Jahres-Risiko für radiologische Wirbelkörperfrakturen und proximale Femurfrakturen beträgt mehr als 30%,
- der T-Wert der DXA-Knochendichtemessung an der LWS oder des proximalen Gesamtfemurs beträgt gleichzeitig weniger als $-2,0$
- und es ist eine therapeutische Effizienz der Osteoporosetherapeutika belegt.

In der nachfolgenden Tabelle wird in Abhängigkeit von den Grenzwerten der T-Werte der Knochendichtemessung und der Gesamtkonstellation an übrigen Risikofaktoren eine medikamentöse Empfehlung ausgesprochen. Die DVO weist darauf hin, dass sich diese Werte auf DXA-Messungen beziehen und nicht auf die oft wesentlich niedrigeren T-Werte der quantitativen Computertomographie (Pfeilschifter, 2008).

Minimaler DXA-T-Wert der Messung an der LWS und am proximalen Gesamtfemur			
Frau	Mann	Mit Risikofaktoren^a	Ohne Risikofaktoren
50–60 Jahre	60–70 Jahre	<–3,0 bis <–4	<–4,0
60–65 Jahre	70–75 Jahre	<–2,5 bis <–3,5	<–3,5
65–70 Jahre	75–80 Jahre	<–2,0 bis <–3,0	<–3,0
70–75 Jahre	80–85 Jahre	<–2,0 bis <–2,5	<–2,5
>75 Jahre	>85 Jahre	<–2,0	<–2,0
Wirbelkörperbruch ohne größere Gewalteinwirkung		<–2,0	<–2,0
Orale Kortikoide >3 Monate		<–1,5	<–1,5

Tab. 4: DXA-T-Werte in Abhängigkeit von Lebensalter und Geschlecht, bei deren Unterschreitung eine medikamentöse Langzeittherapie empfohlen wird (Därr et al., 2008)

^a Risikofaktoren: proximale Femurfraktur eines Elternteils, periphere Fraktur nach Bagateltrauma, Nikotinkonsum, multiple Stürze oder eine weitgehende Immobilität. Der genaue Schwellenwert für eine Therapieeinleitung ist Ermessenssache in Abhängigkeit von der Zahl und Schwere der genannten Risikofaktoren.

Weiterhin stehen die in Tab. 5 aufgelisteten Medikamente für die postmenopausale Frau zur Verfügung, die bereits in kurzer Zeit zu einer etwa 50%-igen Verminderung der Wirbelkörperbrüche führen (Pfeilschifter, 2008).

Wirkstoff (Handelsnamen)	Dosierung
Alendronat (Fosamax®, verschiedene Generika) Alendronat + 5600 IE Vitamin D (Fosavance®)	10 mg täglich p.o. bzw. 70 mg wöchentlich p.o.
Ibandronat (Bonviva®)	150 mg monatlich p.o. bzw. 3 mg alle 3 Monate i.v.
Risedronat (Actonel®) Risedronat + Kalzium + D3 (Actonel Plus Calcium D®)	5 mg täglich p.o. bzw. 35 mg wöchentlich p.o.
Zoledronat (Aclasta®)	5 mg alle 12 Monate i.v.
Strontiumranelat (Protelos®)	2 g täglich p.o.
Raloxifen (Evista®)	60 mg täglich p.o.
Teriparatid [PTH 1-34] (Forsteo®)	20 µg täglich s.c.
Parathormon (Preotact®)	1-84 100 µg täglich s.c.

Tab. 5: Medikamentöse Therapie der postmenopausalen Osteoporose (Därr et al., 2008)

Erfahrungsgemäß führt eine adäquate konservative Therapie binnen zwei bis drei Wochen nach dem Trauma zu einer enormen Schmerzreduktion. Sollte die Behandlung auf diese konservative Therapie nicht ansprechen, stellt dies eine besondere Herausforderung dar (Rao und Singrakhia, 2003). Es wird die Suche nach den Ursachen der Beschwerden fortgesetzt mit Beachtung der Fragestellung nach der Notwendigkeit eines operativen Vorgehens. Als Ursachen kommen konsekutive Sinterungen, ausgeprägte lokale Kyphosen, Wirbelkörpernekrosen, serielle Frakturen mit globaler Kyphosierung und die in der aktuellen Literatur zunehmend beschriebenen Pseudarthrosen in Frage, die ggf. eine Indikation für ein operatives Vorgehen darstellen (Heini, 2005).

1.2.6.2. Operative Therapie

Die operative Therapie osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen ist meist durch mehrere Aspekte limitiert. So empfiehlt Uchida et al. in seiner Publikation vier Punkte im Rahmen der operativen Planung solcher Frakturen mit einzubeziehen (Uchida et al., 2006):

1. den Gesundheitszustand des Patienten
2. den Typ, die betroffene Höhe und die Anzahl der Frakturen
3. die Ausprägung der Osteoporose
4. die bestmögliche operative Technik, um die festgelegten Ziele zu erreichen

Da in den meisten Fällen ältere Menschen betroffen sind, verbietet sich eine aufwendige ventrale Stabilisierung aufgrund der Allgemeinsituation oder des individuellen Gesundheitszustandes ($ASA > 2$) (siehe Anhang). Ebenso wird nach der Versorgung mit einem „Fixateur interne“ bei Personen mit ausgeprägter Osteoporose und schlechter Knochenqualität eine stark erhöhte Dislokationsrate beschrieben (Gonschorek und Bühren, 2006). Nur in Ausnahmefällen, in denen die segmentale Kyphose mehr als 20° beträgt oder der Wirbelkörper um mehr als die Hälfte komprimiert ist, ist eine langstreckige, dorsale Stabilisierung indiziert, da die Gefahr einer radikulären Symptomatik besteht (Katscher et al., 2003).

Als erste therapeutische Option haben sich inzwischen die zementaugmentierenden Verfahren etabliert, deren klinische Wirksamkeit belegt ist (Orler et al., 2006; Heyde et al., 2008). Dabei wird über einen dorsalen, transpedikulären, oberhalb von Th10 lateralen parapedikulären Zugang mittels gedecktem Verfahren Zement in den Wirbelkörper injiziert, um den Wirbelkörper zu stabilisieren.

Die Vorteile dieser Behandlungsmethode bestehen darin, dass die Patienten praktisch unmittelbar postoperativ eine auftretende Beschwerdefreiheit empfinden und sie die Möglichkeit der sofortigen Mobilisation ohne wesentliche Einschränkungen besitzen (Gonschorek und Bühren, 2006).

Die Ergebnisse sind als hervorragend zu werten hinsichtlich der Schmerzreduktion, der Prävention eines weiteren Einsinken des Wirbels, der Senkung des Analgetikabedarfs und Erhalt bzw. Wiedererlangung von Mobilität und Selbstständigkeit. Eine

Schmerzbesserung wird bei ca. 90% der Patienten nach einer perkutanen Zementaugmentation des gebrochenen Wirbelkörpers wahrgenommen (Appel und Gilula, 2004; Barr et al., 2000). Aus zuvor genannten Gründen besitzt dieses Verfahren einen festen Platz im therapeutischen Konzept osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen (Orler et al., 2006; Heyde et al., 2008).

Für neuere, publizierte Verfahren wie z. B. das „vertebrale Stenting“ fehlen zum jetzigen Zeitpunkt Ergebnisse, die eine Bewertung erlauben (Fürderer et al., 2002; Heyde et al., 2008).

1.2.6.2.1. Zementaugmentation von frakturierten Wirbelkörpern

Die Vertebroplastie, die Kyphoplastie und die Lordoplastie stellen die Verfahren der Wahl bei der Zementaugmentation von frakturierten Wirbelkörpern dar.

Die drei oben angeführten Verfahren unterscheiden sich sowohl hinsichtlich der Möglichkeiten der Wiederherstellung der ursprünglichen Wirbelkörperhöhe, als auch in der Korrektur kyphotischer Fehlstellungen. Als übergeordnetes Ziel gilt die Rekonstruktion des sagittalen Profils der gesamten Wirbelsäule, wonach der Grad der Kyphose beurteilt werden kann. Dieser beeinflusst wiederum die Rate an Folgefrakturen als auch die kyphosebedingten, frakturfernen Pathologien. Bei allen drei Verfahren kann bei einer frühzeitig erfolgten Operation durch die Bauchlagerung des Patienten mit einem leichten Durchhang (siehe Abb. 13) eine partielle Wiederaufrichtung des Wirbelkörpers erzielt werden.

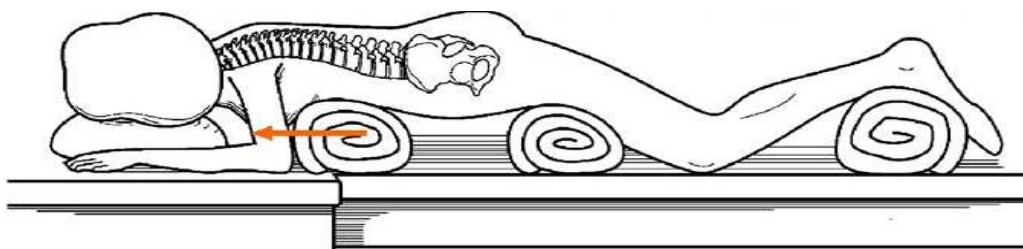


Abb. 13: Lagerung (In Anlehnung an Kasperk et al., 2008)

Eine zusätzliche Aufrichtung des gesinterten Wirbels konnte sowohl bei der Kyphoplastie, bedingt durch die Insufflation des Ballons, als auch bei der Lordoplastie,

durch die Reposition über die benachbarten Wirbel, beobachtet werden (Heini, 2005; Orlor et al., 2006; Heyde et al., 2008). Zusätzlich beinhalten die einzelnen Verfahren Vor- und Nachteile hinsichtlich der Komplikationen, Kosten und Langzeitergebnisse. Aber auch die Fragen nach der Menge des zu verwendenden Zements, nach der Notwendigkeit sog. prophylaktischer Augmentierungen und die Verwendung von resorbierbaren Zementen werden bei allen drei Methoden variabel angewendet und in diversen Studien diskutiert (Farooq et al., 2005; Heyde et al., 2008).

Für die Zementaugmentation wird üblicherweise ein Polymethylmethacrylat-Zement (PMMA-Zement) verwendet, welcher nach experimentellen Untersuchungen zu einer Erhöhung der Festigkeit von Wirbelkörpern führt (Heini et al., 2001; Liebschner et al., 2001). Er besitzt eine um bis zu 100-fach höhere Steifigkeit als die osteoporotische Wirbelkörperspongiosa, wodurch die ursprüngliche Festigkeit des Wirbels wieder erreicht wird (Belkoff et al., 2001).

Dennoch birgt die akute Änderung der Festigkeit der Wirbelkörper die Gefahr, Anschlussfrakturen in Nachbarwirbelkörpern hervorzurufen. Experimentell wurde nach Zementaugmentierung eine Druckerhöhung im Nucleus pulposus und eine Erhöhung der Durchbiegung in der benachbarten Endplatte nachgewiesen, welche das Risiko für weitere Frakturen erhöhen (Polikeit et al., 2003). Dies konnte indessen in einer weiteren Analyse widerlegt werden, in der unter Einbeziehung von zwei funktionellen Wirbelsäuleneinheiten keine negativen Auswirkungen auf die Lastverhältnisse in Nachbarwirbeln nach Zementaugmentation festgestellt wurden (Villarraga et al., 2005).

Nicht von der Hand zu weisen ist aber das Fehlen von osteokonduktiven oder osteoinduktiven Eigenschaften von PMMA-Zement. Weitere Nachteile sind, die bei der Polymerisation entstehenden hohen Temperaturen und die systemischen, kardiopulmonalen Effekte des Monomers (Kasperk et al., 2008). Um diese Nachteile zu umgehen, wurde bereits von einer erfolgreichen Anwendung von biodegradablen Substanzen wie Kalziumphosphat in der Wirbelkörperaugmentation berichtet (Hillmeier et al., 2004; Nakano et al., 2002).

Der Vorteil bei der Verwendung von Kalziumphosphat (CaP) besteht darin, dass das injizierte Material ohne Hitzeentwicklung aushärtet. Zusätzlich wird vermutet, dass der CaP-Zement durch die Osteoklasten resorbiert wird und gleichzeitig mit der Bildung von

neuem Knochengewebe einhergeht. Der Nachweis hierfür muss aber noch unter klinischen Bedingungen erbracht werden (Ooms et al., 2002; Grafe et al., 2008).

Die Knochenumwandlung erfordert eine vollständige Ruhe im Implantatbett, damit das spröde CaP-Zementmaterial ohne bindegewebige Einscheidung heilen kann. Somit ist die Voraussetzung für die langfristig erfolgreiche Anwendung des CaP-Zements eine verwindungsstabile Situation, die besonders bei älteren Wirbelkörperfrakturen vorliegt (Grafe et al., 2008).

Aber auch bei jüngeren (<50-jährigen) Patienten empfiehlt sich die Anwendung des CaP-Zementmaterials, da hierbei eventuell noch eine offene, operative Revision des eingebrochenen Wirbelkörpers oder das Einbringen von Pedikelschrauben durchgeführt werden kann, ohne dass in jedem Fall ein kompletter Wirbelkörperersatz durchgeführt werden muss (Kasperk et al., 2008).

Ein Nachteil bei der Verwendung des Kalziumphosphatzements stellt das sofortige Aushärten bei Kontakt mit Blut dar. Dies erschwert deutlich die Handhabung und macht weitere Applikationen schwierig (Voggenreiter et al., 2008). Hinzu kommt, dass die mechanische Belastbarkeit der bioresorbierbaren Zemente unter klinischen Bedingungen nicht immer ausreichend ist, so dass besonders bei Frakturen mit Deckplatten- und Hinterkantenbeteiligung postoperative Korrekturverluste zu beobachten sind (Blattert und Weckbach, 2004).

Das Indikationsspektrum für eine Zementaugmentations umfasst

- Schmerzhaft osteoporotische Sinterungsfrakturen der BWS und LWS
- Pathologische (durch Metastasen verursachte) schmerzhaft oder stabilitätsgefährdende Wirbelkörpersinterungen oder schmerzhaft Wirbelkörpermetastasen ohne Fraktur,
- Multiples Myelom mit Schmerzen der befallenen Wirbelkörper oder Stabilitätsgefährdung durch die Osteolyse und
- Stabilitätsgefährdende Wirbelkörperhämangiome (Kasperk et al., 2008).

Die Anwendungsmöglichkeiten der Zementaugmentations sind oft eingeschränkt und somit sind folgende Konstellationen kontraindiziert:

- lokale oder systemische Infektionen (Spondylitis, Osteomyelitis, Hautinfektionen am Zugangsort, Sepsis),
- Gerinnungsstörungen (einschließlich Thrombozytenaggregationshemmer, Antikoagulantien),
- stark reduzierter Allgemeinzustand mit fehlender Narkosefähigkeit,
- schmerzlose Kyphose der Wirbelsäule bei stabilen, alten Sinterungsfrakturen,
- hochgradige degenerative Veränderungen der Wirbelsäule z. B. mit ankylosierenden Spondylophyten, Vertebra plana und einer Vielzahl an sonstigen Schmerzursachen (z. B. Spondylarthrosen, Osteochondrosen, Morbus Bastrup, Bandscheibenprolaps),
- Kyphoplastie von Halswirbeln,
- Hinterkanteninstabilität; in den Spinalkanal einbrechender Weichteiltumor oder Osteolyse mit Einbruch in den Spinalkanal,
- Hauptschmerzlokalisierung und Wirbelkörperfraktur nicht identisch und
- Wirbelkörperspalt- oder Berstungsbrüche (Kasperk et al., 2008).

1.2.6.2.2. Vertebroplastie

Das als Vertebroplastie bekannte Verfahren, welches weltweit an Bedeutung gewann, wurde 1987 durch Galibert erstmals publiziert. Zunächst wurde es für die Behandlung von Wirbelkörperhämangiomen mit Symptomen angewendet, dann zunehmend auch in der Behandlung von osteoporotischen Frakturen (Galibert et al., 1987; Voggenreiter et al., 2008). Da die Durchführung der Vertebroplastie keine spezifischen Instrumente benötigt und zusätzlich von Radiologen verbreitet angewandt wird, ist es schwierig abzuschätzen, wie oft solche Eingriffe bisher durchgeführt worden sind (Birkenmaier, 2008).

Dieses Verfahren wird in der Regel in Lokalanästhesie oder in Analgosedierung durchgeführt. Es werden zwei Kanülen (z. B. Yamshidi-Punktionsnadeln) unter CT- oder fluoroskopischer Kontrolle perkutan, transpedikulär in den eingebrochenen Wirbelkörper eingeführt. Anschließend wird eine nicht exakt definierte Menge eines PMMA-

Kunststoffs unter röntgenologischer Durchleuchtungskontrolle in den eingebrochenen Wirbelkörper gespritzt, der innerhalb weniger Minuten vollständig polymerisiert und aushärtet. Letztendlich werden die Einspritzkanülen aus dem Wirbelkörper entfernt und die Einstichstellen versorgt (Kasperk et al., 2008).

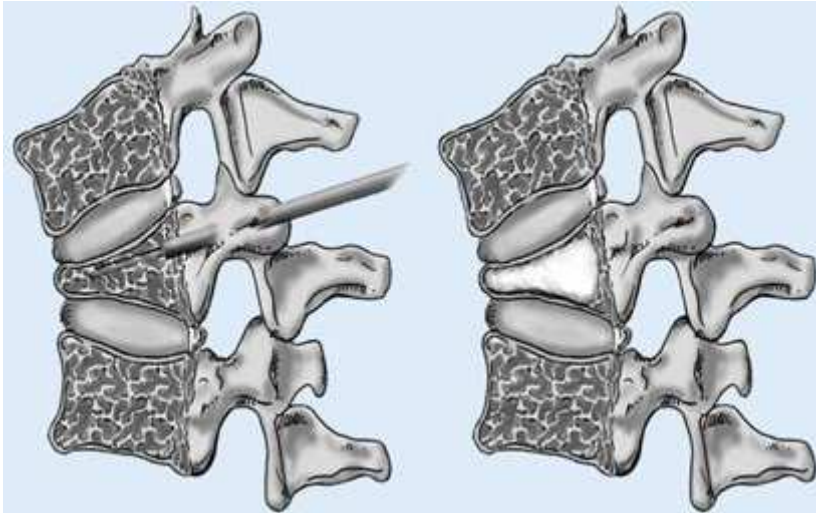


Abb. 14: Vertebroplastie (Kasperk et al., 2008)

Die Fragestellung, in wie weit eine gezielte Aufrichtung des Wirbelkörper durch die Vertebroplastie im Gegensatz zur Kyphoplastie möglich ist, wurde vermehrt analysiert. Mc Kiernan schrieb im Jahre 2003 den osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen eine dynamische Mobilität zu, die durch die oben erwähnte Bauchlagerung während der Operation eine gewisse Aufrichtung der Wirbelkörper erlaube (Mc Kiernan et al., 2003; Voggenreiter et al., 2008). Durch Schulter- und Beckenkissen wird in Bauchlagerung des Patienten eine lordosierte Haltung erreicht, die einen dorsalen Zugang zu den Wirbelkörpern der Brust- und Lendenwirbelsäule ermöglicht (siehe Abbildung 13). Zusätzlich ist wegen der schmerzbedingt verspannten Wirbelsäulenstreckmuskulatur eine Intubationsnarkose zur vollständigen Muskelrelaxation erforderlich, um eine lagerungsbedingte Wiederaufrichtung frischer Wirbelkörpersinterungen zu ermöglichen. So konnte bei frischen, wenige Tage alten Sinterungsfrakturen eine gewisse Wiederaufrichtung der eingebrochenen Wirbelkörper nachgewiesen werden (Mc Kiernan et al., 2003). Bei alten Wirbelkörperfrakturen spielt die Lagerung für eine mögliche Wiederaufrichtung keine Rolle (Kasperk et al., 2008).

Die häufigste Komplikation bei der Vertebroplastie ist der ungewollte Zementaustritt aus den behandelten Wirbelkörpern (Shindle et al., 2006; Kasperk et al., 2008).

Hauptursächlich ist meist die zu frühe Applikation des noch nicht teigig gewordenen Materials in den Wirbelkörper. Dies ist vor allem bei der Vertebroplastie zu beobachten, da die Applikationsmenge nicht exakt definiert ist. Doch in den meisten Fällen bleiben diese Zementaustritte klinisch asymptomatisch. Eine ernstzunehmende Komplikation stellt aber das Einspritzen von niedrig viskösem Zement dar, da es die Gefahr einer Embolisation birgt (Heini und Orler, 2004).

Auf Grund mangelnder publizierter Ergebnisse hinsichtlich systematischer Nachuntersuchungen der Lunge nach Kypho- und Vertebroplastien ist unklar, wie häufig klinisch symptomfreie Lungenembolien nach der Durchführung dieses Verfahrens auftreten

(Pluijm et al., 2000; Burger et al., 1997; Haussler et al., 2007; Mirovsky et al., 2006; Nöldge et al., 2006).

Ein weiteres, mögliches Risiko ist die Verletzung von neuronalen Strukturen bei Fehlpunktionen, die aber durch einen routinierten Operateur und unter Überwachung von bildgebenden Techniken selten zu beobachten sind. Ebenfalls besteht das Risiko von Anschlussfrakturen nach einer Vertebroplastie, da es nach maximaler Injektion des PMMA-Kunststoff in den frakturierten Wirbelkörper zu einer weitgehenden Verhärtung des gesamten spongiösen Raums im Knochenmark des augmentierten Wirbelkörpers kommt (Bellach et al., 2000). Möglicherweise verursacht die unphysiologischen Kraftverteilung innerhalb der Wirbelsäule eine erhöhte Frakturinzidenz der benachbarten Grund- oder Deckplatten eines vertebroplastierten Wirbelkörpers (Kasperk et al., 2008).

Auch eine progrediente Kyphosierung lässt ähnliche biomechanische Probleme mit einer verschlechternden Sagittalbalance entstehen, die durch die Vertebroplastie nicht behoben werden kann. So entstand die Idee der Kyphoplastie, wobei ebenfalls durch eine geringe Invasivität die Korrektur der kyphotischen Deformität und des Höhenverlustes vereint werden sollte (Birkenmaier et al., 2008).

1.2.6.2.3. Kyphoplastie

Ende der 1990er Jahre wurde als Verbesserung der Vertebroplastie die Ballonkyphoplastie entwickelt, wobei durch Aufblasen eines Ballonkatheters im

Wirbelkörper eine Aufrichtung desselben erfolgt. In den verbleibenden Hohlraum wird nach Entfernen des Katheters der Zement appliziert (Berlemann et al., 2002; Lieberman et al., 2001; Voggenreiter et al., 2008).

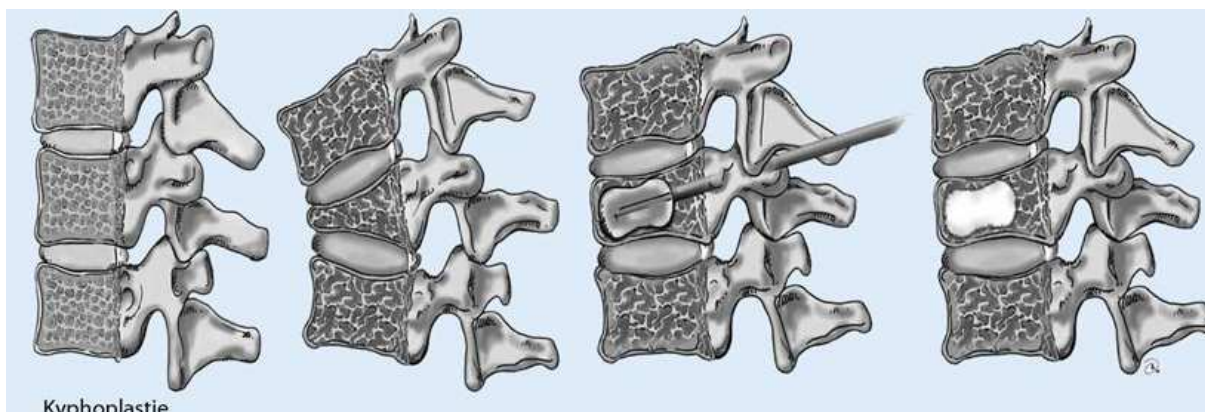


Abb. 15: Ballonkyphoplastie (Kasperk et al., 2008)

Diese Methode stellt einen medizinischen Fortschritt im Therapiespektrum bei osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen dar (Birkenmaier et al., 2008).

Im Jahre 1998 wurde die Ballonkyphoplastie erstmals angewandt und die Ergebnisse zwei Jahre später von Wong, Reiley und Garfin veröffentlicht. Seitdem hat sie eine rasche Verbreitung gefunden (Theodorou et al., 2002). Nach Angaben von der Herstellerfirma Kyphon, die die Instrumentarien der Ballonkyphoplastie vertreiben, wurden bis Juni 2007 weltweit insgesamt 400.000 Wirbelkörperfrakturen bei 340.000 Patienten kyphoplastiert (Birkenmaier et al., 2008).

Das Vorgehen ähnelt dem der Vertebroplastie. Bei der Kyphoplastie wird der Patient in der Regel ebenfalls in Intubationsnarkose und Bauchlage therapiert. Unter fluoroskopischer Kontrolle werden zwei Arbeitskanülen transpedikulär oder extrapedikulär in den dorsalen Bereich des eingebrochenen Wirbelkörper vorgeschoben. Nach dem Aufbohren des Wirbelkörpers werden dann bipedikulär die Ballonkatheter platziert. Diese werden anschließend mit einer röntgendichten Kontrastflüssigkeit unter permanenter fluoroskopischer Kontrolle aufgeblasen, bis die Wirbelkörperhöhe bestmöglich hergestellt ist, die Ballons die Wirbelkörperkortikalis erreichen, ein Druck von 400 psi oder das maximale Ballonvolumen erreicht ist. Die Ballons werden dann entfernt, wobei das geschaffene Kavum erhalten bleibt, da durch die hyperlordosierte Position des Patienten in Bauchlage und durch die vollständige Muskelrelaxation durch die Intubationsnarkose keinerlei Druck mehr auf dem eingebrochenen Wirbelkörper

lastet. In das vorbereitete Kavum wird nun ein hochviskös-teigiger PMMA-Kunststoffs oder Kalziumphosphatzement appliziert. Das Risiko eines Zementaustritts wird minimiert, indem ein durch den Ballon definiertes Volumen an Zement in geeigneter Konsistenz eingefüllt wird (Kasperk et al., 2008; Voggenreiter et al., 2008).

Doch das individuelle Beschwerdebild, die vorliegenden Grunderkrankungen und die Behandlungssituation des Patienten bestimmen immer noch den günstigsten Zeitpunkt für die Durchführung einer Kyphoplastie. Besonders das individuelle Beschwerdebild ist unter Berücksichtigung einer begonnenen konservativen und analgetischen Therapie und einer röntgenologisch nachgewiesenen relevanten Progredienz einer Wirbelkörperdeformität bedeutend. Korrespondiert demnach die Hauptschmerzlokalisierung mit dem röntgenologisch erkennbar gesinterten Wirbelkörper, ist die Behandlung von frischen (<30 Tage alt) aber auch älteren (zwei bis zwölf Monate alten) und alten (>ein Jahr alte) schmerzhaften, osteoporotischen Sinterungsfrakturen durch eine Kyphoplastie indiziert. Sollte es in den ersten zwei bis vier Wochen nach einer Wirbelkörperfraktur zu keiner baldigen Beschwerdebesserung kommen, kann die definitive Entscheidung zur Durchführung einer Kyphoplastie getroffen werden. Eine solche frühzeitig durchgeführte Kyphoplastie bei frischen Wirbelfrakturen begünstigt eine verbesserte Wiederaufrichtung der eingebrochenen Wirbelkörper, da es noch nicht zur vollständigen kallösen Verheilung an den Frakturlinien gekommen ist (Kasperk et al., 2008). Die Kyphoplastie erlaubt zusätzlich zur lagerungsbedingten, spontanen Aufrichtung eine weitere signifikante Verbesserung der Wirbelkörperhöhe und Kyphosereduktion (Voggenreiter et al., 2005).

Dennoch gibt es für die Kyphoplastie ernstzunehmende, spezifische Komplikationen und Risiken bei inkorrekt er Indikationsstellung. Sollten Thrombozytenaggregationshemmer eine Woche zuvor nicht abgesetzt worden sein, besteht die Gefahr, dass epidurale Sickerblutungen beim Einbringen der Arbeitskanülen entstehen, welches eine verzögerte neurologische Symptomatik bewirken könnte (Kasperk et al., 2008).

Daneben besteht wie bei der Vertebroplastie die Gefahr des Zementaustritts, die aber seltener beobachtet wird. So wurden bei 50–90% der durchgeführten Vertebroplastien, aber nur bei etwa 5–20% der Kyphoplastien derartige klinisch asymptomatische Zementaustritte festgestellt (Shindle et al., 2006). Über weitere, schwerwiegende

Komplikationen bei der Kyphoplastie außer Blutungen und Zementaustritten wurde bislang nicht berichtet. Ein seltenes Problem besteht im Platzen des Ballons, beim Versuch mit großen Drücken eine bestmögliche Wiederherstellung der ursprünglichen Wirbelkörperhöhe zu erzielen. Dieses Problem wurde bei weniger als fünf Prozent der verwendeten Ballonkatheter beschrieben und bleibt ohne klinische Konsequenz, da es lediglich zu einer Abschwemmung des gewebsverträglichen Kochsalz-Kontrastmittel-Gemisches kommt (Birkenmaier et al., 2008).

Die Primärstabilität stellt eine Grundvoraussetzung für die Durchführung der Kyphoplastie dar. Sollte diese nicht erreicht werden, besteht das Risiko, dass die progredient, lockernde Zementplombe zu Relativbewegungen zwischen Knochen und PMMA-Plombe führt. Dies könnte zur Folge haben, dass der angrenzende Knochen im Sinne eines "umgekehrten Nussknackereffekts" destruiert und durch die sekundär zunehmende Kyphose das Hinterkantenfragment in den Spinalkanal gedrängt wird. Die Instabilität würde sich dadurch zusätzlich erhöhen. Da der PMMA-Zement bioinert ist, kommt es an der Knochen-PMMA-Grenzschicht zu keiner sekundären Knochenheilung oder Stabilisierung. So muss eine ausreichende Knochenmasse rund um die PMMA-Plomben und eine ausreichende Primärstabilität vorhanden sein, um eine Ausheilung zu ermöglichen (Birkenmaier et al., 2008). Dies ist meistens bei einer ausgeprägten Osteoporose oder einer Fraktur mit mehrfach fragmentierten Knochenresten nicht gegeben. So resultiert bei der Aufrichtung durch den Kyphoplastieballon eine weitere Entfernung der Knochenfragmente, welches die Konsolidierungschancen weiter reduziert. Somit stellen die Plomben im Zentrum der Fraktur eher ein Hindernis für die Frakturheilung dar, indem sie die Frakturänder voneinander getrennt halten. In solchen Fällen sollte entweder von einer Kyphoplastie abgesehen werden oder aber durch eine additive Instrumentierung und eine Spondylodese eine Stabilisierung erfolgen. Da aber ein großer Teil der Kyphoplastien von Operateuren durchgeführt wird, die sich nicht primär auf die Versorgung von Wirbelkörperfrakturen spezialisiert haben, entfällt oft die zusätzlich notwendige Stabilisierung („stand-alone“). Hinzu kommt, dass bei den Kyphoplastien eine Aufrichtung der Fraktur häufig nicht komplett möglich ist, so dass der Zuggurtungseffekt des vorderen Längsbandes oft entfällt (Birkenmaier et al., 2008).

1.2.6.2.4. Lordoplastie

Eine Alternative und Weiterentwicklung der Vertebroplastie stellt ebenfalls die Lordoplastie dar. Sie wurde im Jahre 2006 in Zusammenarbeit von Heini und Orlor beschrieben, mit dem Ziel, eine Aufrichtung des Wirbelkörpers zu erreichen bei geringerem Kostenaufwand verglichen mit der Kyphoplastie (Orler et al., 2006). Es sind keine zusätzlichen Hilfsmittel erforderlich, so dass die Kosten mit denen einer Vertebroplastie vergleichbar sind (Lugingbuhl, 2008, Voggenreiter et al., 2008).

Über transpedikulären Kanülen, die in die benachbarten Wirbelkörper kranial und kaudal des gebrochenen Wirbels eingebracht werden, erfolgt die Reposition und Aufrichtung des Wirbelkörpers. Bevor der Zement injiziert wird und aushärtet, werden die Kanülen zusammengeschnürt und in einer lordosierten Position gehalten. Dabei wird ebenfalls eine Aufrichtung des Wirbelkörpers beobachtet ähnlich einer Kyphoplastie. Der Unterschied besteht darin, dass die Aufrichtung des gebrochenen Wirbelkörpers über Zugkräfte der benachbarten Wirbelkörper erfolgt, wohingegen bei der Kyphoplastie der gleiche Effekt durch Druck im gesinterten Wirbelkörper erreicht wird (Orler et al., 2006).

Bei diesem Verfahren ist zu erwähnen, dass die benachbarten Wirbelkörper ebenfalls von einem operativen Eingriff betroffen sind. So ist zu bedenken, dass beim Zusammenschnüren der Kanülen große Kräfte auf die benachbarten Wirbelkörper wirken, welches eine gewisse Primärstabilität voraussetzt. Dies ist oft bei einer systemischen Osteoporose nicht gegeben. Doch da es sich um ein neueres Verfahren handelt, konnte über die Folgen und Langzeitergebnisse noch nicht viel in Erfahrung erbracht werden. Die Komplikationen und Risiken sind vergleichbar mit denen der Vertebroplastie, da das Vorgehen ähnlich und die verwendeten Materialien identisch sind (Orler et al., 2006).

1.3 Fragestellung und Zielsetzung der Arbeit

Eine Ursache der Rückenschmerzen, unter denen rund 10-20% der Erwachsenen in Deutschland leiden, sind Wirbelkörperfrakturen, die auf Grund von osteoporotischen Veränderungen zustande kommen (Bellach et al., 2000; Blauth et al., 2000, Heini und Orlor, 2004; Heini, 2005).

Auf dem Europäischen Orthopädiekongress (EFORT) 2009 wurde die Zahl der in Deutschland an Osteoporose leidenden Menschen mit ca. acht Millionen beziffert, die das Gesundheitsbudget mit etwa vier Milliarden Euro pro Jahr zur Behandlung dieser Krankheit und deren Folgekosten belasten. Europaweit schätzen Experten, dass fast 48 Millionen Menschen betroffen sind (Finnern und Sykes, 2003). Bedingt durch die gestiegene Lebenserwartung stellt die Zunahme der Osteoporose zusammen mit den daraus resultierenden Frakturen eine der großen medizinischen und sozioökonomischen Herausforderungen unserer Zeit dar (Lane, 2006). Der Umfang der betroffenen Patienten verdeutlicht, wie wichtig die Entwicklung und Validierung neuer Methoden zur Behandlung von osteoporotischen Frakturen ist und auch in Zukunft sein wird

Zur operativen Versorgung von osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen stehen unter anderem die drei zuvor beschriebenen zementaugmentierenden Operationsverfahren zur Verfügung: Die Vertebroplastie, die Kyphoplastie und die Lordoplastie. Alle drei Verfahren sind inzwischen in der Therapie osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen etabliert und gelten bezüglich ihrer klinischen Wirksamkeit bei geeigneter Indikation allgemein als bewiesen (Orler et al., 2006; Heyde et al., 2008). Dennoch beinhalten die einzelnen Operationsverfahren spezifische Vor- und Nachteile, die gegeneinander abgewogen werden müssen. Diese betreffen vor allem das Komplikationsprofil, Langzeitergebnisse, Operationsdauer, Qualität und Zufriedenheit des Patienten, sowie die Kosten der Behandlung (Farooq et al., 2005; Heyde et al., 2008).

Seit der Einführung der Vertebroplastie im Jahre 1987, der Kyphoplastie im Jahre 1998 und der Lordoplastie 2005 ist es das Ziel einer Vielzahl von Forschergruppen diese Techniken zu optimieren oder auch neue Methoden zu entwickeln.

Es gibt jedoch einige Weiterentwicklungen auf dem Markt, über die bisher kaum wissenschaftliche Daten verfügbar sind. Eines davon ist das Xvoid-System, ein zementaugmentierendes Verfahren, das bei gleichen Indikationen eingesetzt werden

kann wie andere zementaugmentierende Verfahren. Dennoch ist es im Vergleich zu den gebräuchlichen Kyphoplastieverfahren wesentlich kostengünstiger und verspricht eine verbesserte Verbindung zwischen dem PMMA-Zement und der Knochengrenzschicht.

Obwohl das System bereits klinisch im Einsatz ist, gibt es bisher keine validierten Daten, mit denen man die Ergebnisse anderer Verfahren vergleichen könnte.

Ziel unserer Untersuchung war es daher, diese Daten zu ermitteln. Aufgrund der gesammelten Informationen soll anschließend beurteilt werden, ob die klinischen und radiologischen Ergebnisse nach Kyphoplastie mit dem Xvoid-System, vergleichbar mit den Ergebnissen der momentan noch deutlich weiter verbreiteten Ballonkyphoplastie sind.

2. Material und Methoden

Die vorliegende Untersuchung ist auf der Grundlage der revidierten Deklaration von Helsinki des Weltärztebundes (1983) und den entsprechenden gesetzlichen Grundlagen durchgeführt worden. Alle Patienten, die an der Studie teilgenommen haben, sind zuvor über den Ablauf der Studie, das Verfahren und die Nachbehandlung informiert worden und eine schriftliche Einverständniserklärung wurde von jedem einzelnen Patienten eingeholt. Die erhobenen Ergebnisse wurden nur mit bereits veröffentlichten Literaturangaben verglichen.

2.1 Patientenkollektiv

In dem Zeitraum von Juni 2006 bis März 2007 wurden an der Klinik für Orthopädie der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf 13 Patienten mit einer osteoporotischen Wirbelkörperfraktur mit dem modernen Kyphoplastieverfahren Xvoid operiert. In der Klinik für Orthopädie, Unfall- und Handchirurgie des HELIOS-Klinikum Krefelds wurden im Zeitraum von Juni 2007 bis April 2008 zusätzlich weitere 17 Patienten mit dem gleichen Operationsverfahren behandelt. Ein Ethikvotum für diese Operationsmethode wurde von der Ethikkommission für nicht notwendig erachtet, da es sich lediglich um ein neues Instrumentarium der Kyphoplastie handele und keine Änderung in der Indikation, der Therapie und der Nachbehandlung beinhalte.

Die 30 Patienten, neun Männer (30 %) und 21 Frauen (70 %) wurden präoperativ nach Ihren Beschwerden befragt und radiologisch kontrolliert. Unmittelbar postoperativ wie auch in Abständen von sechs und zwölf Wochen nach Operation wurden die Patienten klinisch und radiologisch nachuntersucht. Die Abschlussuntersuchung nach dem gleichen Schema wurde ein Jahr nach dem operativen Eingriff durchgeführt.

Von diesen operierten Patienten unterzogen sich 27 Patienten (90%), neun Männer (100%) und 18 Frauen (85,7%) in einem Zeitraum von einem Jahr postoperativ mindestens einer radiologischen Nachuntersuchung.

Zum Zeitpunkt der Operation lag das Durchschnittsalter bei 73 Jahren, die Frauen waren im Durchschnitt mit 75 Jahren (min. 63, max. 88 Jahre) geringfügig älter als die Männer mit 69 Jahren (min. 57, max. 82 Jahre) (Abb. 16).

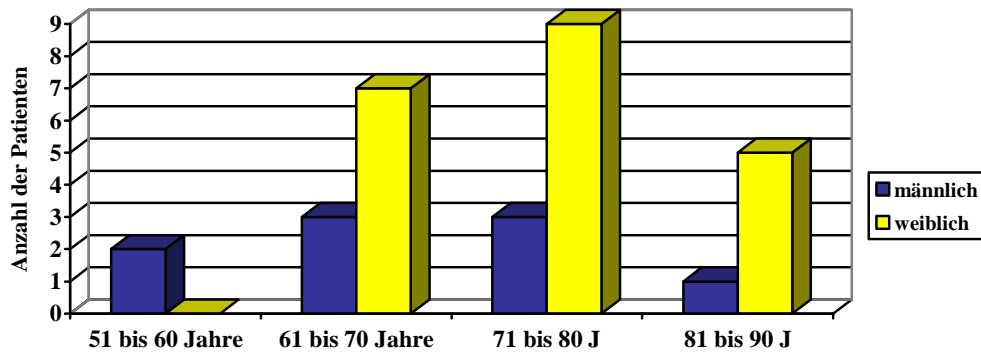


Abb. 16: Altersverteilung (in Altersgruppen; x-Achse) der männlichen (n = 9; blau) und weiblichen (n = 21; gelb) Patienten zum Zeitpunkt der Operation

Die Altersverteilung insgesamt in fünf Jahresschritten stellte sich wie folgt dar:

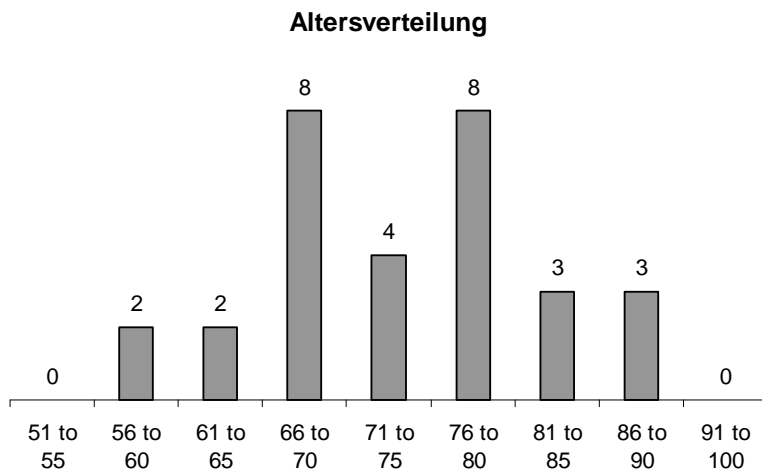


Abb. 17: Altersverteilung in fünf Jahresschritten

Da die Relation von Körpergröße und Gewicht nicht unbedeutend für Wirbelkörperfrakturen ist, wurde sie bei jedem Patienten berechnet. Hierfür benutzen wir den Body Mass Index (BMI), der sich wie folgt berechnet:

Die Körpergröße in Metern (m) wird geteilt durch das Gewicht in Kilogramm (kg) zum Quadrat.

$$\text{BMI} = \text{KG (m)} / (\text{Gew. (kg)})^2$$

Beispiel: Gewicht = 68 kg, Höhe = 165 cm (1.65 m)

$$\text{Berechnung: } 68 \div (1.65)^2 = 24.98$$

Dieser Wert wird grob in einer vorgegebenen Tabelle wie folgt eingeteilt:

< 18.5	Untergewichtig
18.5 – 24.9	normales Gewicht
25.0 – 29.9	Übergewichtig
≥30.0	Adipös

Tab. 6: Einteilung des BMI (in Anlehnung an WHO 2000 und WHO 2004)

Die Verteilung unserer Patienten stellt sich wie folgt dar.

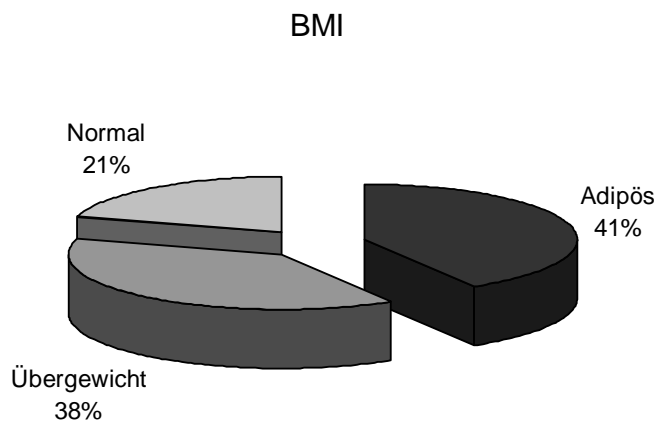


Abb. 18: Verteilung des Patientenkollektivs bezüglich des BMI

2.2 Durchführung

2.2.1 Präoperative Diagnostik

Präoperativ wurden die Patienten, die für diese Studie in Frage kamen, nach strengen Kriterien selektiert. Die Einschlusskriterien waren: Patienten, die seit mindestens sechs Wochen an einer, maximal zwei Wirbelkörperfrakturen im unteren Brustwirbel-(TH7) oder Lendenwirbelbereich leiden, bei denen der Versuch mit einer konservativen Therapie (Schmerztherapie, Korsett und/oder physikalische Therapie) eine Besserung der Beschwerdesymptomatik zu erreichen, misslang. Es wurde beachtet, dass es sich ausschließlich um A1- oder A2.1-Frakturen nach der Einteilung der AO und Margerl et al. (1987), die aufgrund einer manifesten Osteoporose verursacht wurden, handelt. Letztendlich ausschlaggebend für die Operation war, dass ein ausreichender Heilungserfolg zu erwarten war.

Mit Hilfe der Krankenakten, einer ausführlichen Anamnese, der körperlichen Untersuchung und dem Labor wurden Faktoren ausgeschlossen, die als Störvariablen auftreten konnten. Diese Ausschlusskriterien beinhalteten Knochentumore oder Metastasen, Frakturen der Wirbelkörperhinterwand, mehr als zwei symptomatische Wirbelkörperfrakturen und der komplette Verlust der Wirbelkörperhöhe (vertebra plana). Zusätzlich wurden Hämangiome, intraspinale Fragmente, eine mehr als 50%-ige Kompression des Wirbelkörpers, ein Berstungsbruch, eine Kompression des Spinalkanals oder der Foramina intervertebralia, eine Versetzung der benachbarten Wirbelkörper von mehr als vier Millimetern, eine Dornfortsatzfraktur, einen übergreifenden Prozess auf die Spinalnerven, eine Myelopathie, eine Kyphose von mehr als 30°, ein Hochenergiestrauma und Symptome einer Nervenwurzelkompression ausgeschlossen. Kontraindikationen wie ein hohes operatives Risiko, eine Koagulopathie, ein massiv kardiopulmonales Defizit, eine Schwangerschaft, Allergien gegen das Arbeitsmaterial, Infektionen und hämostasiologische Probleme wurden ebenfalls berücksichtigt. Selbstverständlich wurden asymptomatische, stabile oder spontan in Abheilung befindliche Läsionen gleichfalls nicht operiert.

In der präoperativen Diagnostik wurden, wie in der Literatur empfohlen, bei allen Patienten eine Röntgenaufnahmen der BWS und LWS in beiden Ebenen zur Feststellung der betroffenen Wirbelkörperfrakturen herangezogen. Anhand dieser Röntgenaufnahmen wurden präoperativ der Kyphosewinkel des gebrochenen Wirbels und die Wirbelkörperhöhe anterior/middle/posterior gemessen.

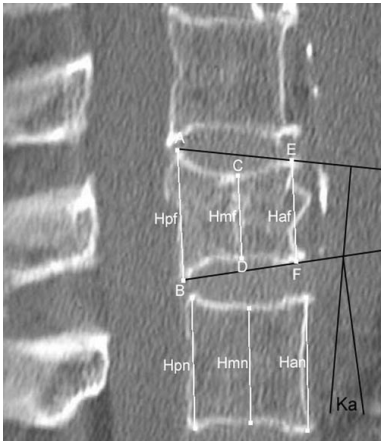


Abb. 19: Messung von Kyphosewinkel (Ka), sowie frakturierter posteriorer (Hpf), frakturierter mittlerer (Hmf) und frakturierter anteriorer (Haf) Wirbelkörperhöhe

2.2.2 Operation

Der Patient wurde auf dem Bauch im Durchhang gelagert mit entsprechender Polsterung im Bereich des Sternums wie auch des Schambeins (siehe Abb. 13).

Bei allen Patienten wurde die Kyphoplastie mit dem Operationsverfahren Xvoid der Firma Stryker (Kalamazoo, MI 49002 U.S.A.) durchgeführt. Dabei handelt es sich um ein minimal invasives Verfahren zur Therapie von Wirbelkörper-Kompressionsfrakturen. Dabei werden aufdehnbare Expanderklingen aus Nitinol eingeführt, die einen Hohlraum im Wirbelkörper herstellen, so dass eine Zementinjektion mit geringem Druck in einen definierten, sternförmigen Hohlraum ermöglicht wird.

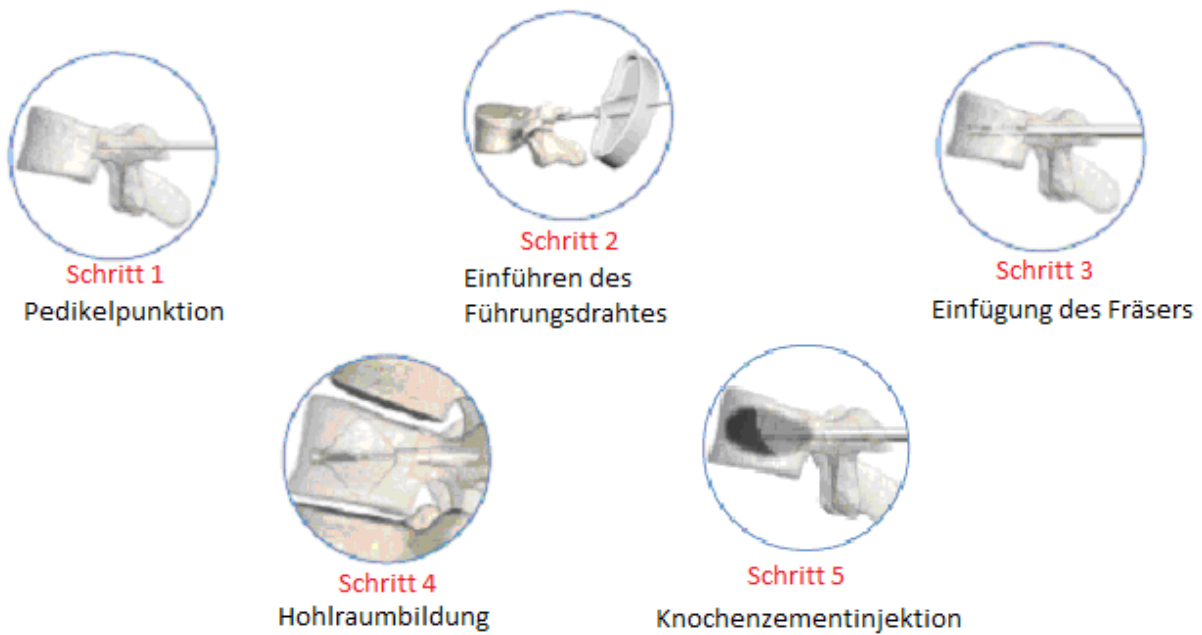


Abb. 20: Schematische Darstellung des Xvoid Verfahrens

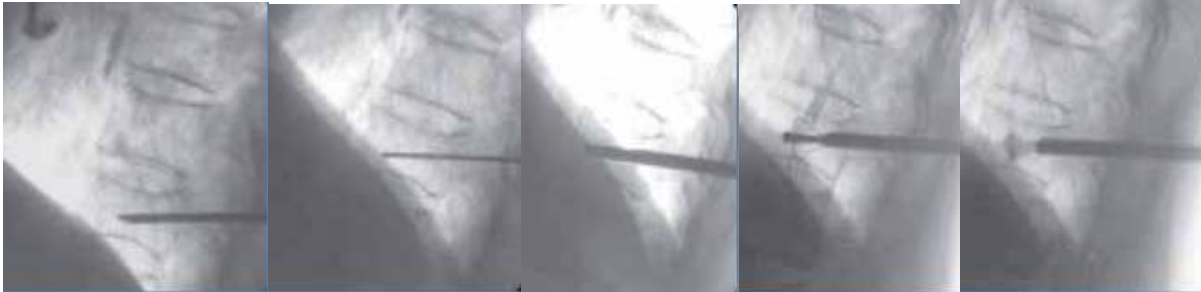


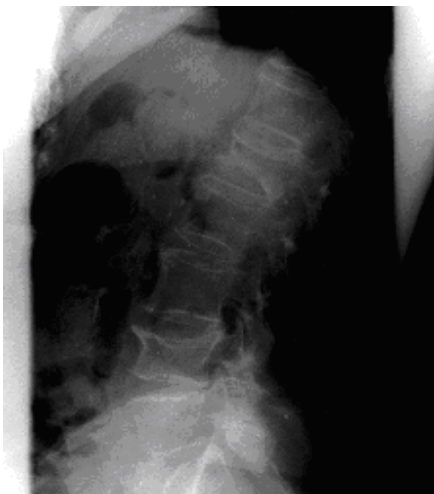
Abb. 21: Bildwandlerbilder des Xvoid Verfahrens intraoperativ

Die Operation wird in fünf Schritten durchgeführt (Abb. 20). Vorerst wird beidseits ein Trokar über den Pedikel unter Durchleuchtungskontrolle bis zum vorderen Drittel des Wirbelkörpers eingeführt (Schritt 1). Anschließend erfolgt die korrekte Platzierung des Arbeitstrokar kurz vor der Wirbelkörperhinterkante, wobei gleichzeitig ein Bohrkanal im spongiosen Knochen geschaffen wird (Schritt 2). Daraufhin wird über diesen Kanal der Fräser des Xvoid-Systems bis zu einer sicheren, korrekten Lage etwa vier Millimeter hinter

der Wirbelkörpervorderkante eingebracht (Schritt 3). Durch Aufspreizen des trapezoidförmigen Expanders in den fünf vorgesehenen Positionen entsteht ein sternförmiger Hohlraum im Wirbelkörper (Schritt 4). Nach Entfernung des Expanders kann über den noch liegenden Arbeitstrokar die Applikation von viskösem Knochenzement in den exakt definierten Hohlraum unter ständiger Bildwandlerkontrolle erfolgen (Schritt 5). Schlussendlich werden die Arbeitskanülen nach Aushärten des Zements entfernt und die Wunde mit zwei Einzelhautnähten und einem sterilen Verband versorgt. Bereits am Tag der Operation wurde dem Patienten die Mobilisation mit voller Belastung des eigenen Körpergewichtes erlaubt, sofern der Allgemeinzustand des Patienten dies ermöglichte.

2.2.3 Nachuntersuchung

Intraoperativ wie auch postoperativ wurden die Patienten radiologisch untersucht. Es erfolgte zwei bis drei Tage nach Operation die erste Befragung hinsichtlich des klinischen Operationserfolges, wobei sowohl ein klinischer als auch ein radiologischer Vergleich vor und nach der Operation möglich war.



a)



b)

Abb.22: Röntgenbilder a) präoperativ b) postoperativ

Im Entlassungsbrief wurde den Patienten die Empfehlung gegeben, sich nach dem Eingriff einer Nachkontrolle im selben Klinikum, in dem sie operiert wurden, unterziehen zu lassen. Etwa eine Woche vor den Nachuntersuchungsterminen wurden die Patienten telefonisch an den Termin erinnert. Bei der Nachuntersuchung wurden sie zu ihrer Schmerzsituation befragt. Dies beinhaltete neben den weiter unten im Einzelnen aufgeführten Oswestry-Score nach Fairbank et al. (1999) auch die Einteilung an der Visual Analog Skala (VAS). Es wurden in Form von konventionellen Röntgenbildern in 2 Ebenen radiologische Verlaufskontrollen durchgeführt. Sämtliche Daten bezüglich der Schmerzsituation wurden in einem persönlichen Gespräch ermittelt und die Daten über die Wirbelkörperhöhe und den Kyphosewinkel wurde an digitalisierten Röntgenbildern mit dem Computerprogramm Magic View 1995 der Firma Siemens errechnet(siehe Abb.19 und Abb. 22). Die Röntgenbilder wurden nach Zementaustritt, Veränderungen der Wirbelkörperhöhe, Veränderungen von Wirbelverhältnissen und angrenzenden Wirbelfrakturen untersucht. Der Kyphosewinkel wurde gemessen. Die klinischen und radiologischen Nachuntersuchungen erfolgten im Abstand von sechs und zwölf Wochen post-OP sowie eine Abschlussuntersuchung ein Jahr nach der Operation.

2.3 Scores

Zur Bewertung des Ergebnisses der operativen Therapie der osteoporotischen Wirbelkörperfraktur wurden die nachfolgenden aufgeführten Scores herangezogen.

2.3.1 Visual Analog Skala (VAS)

Präoperativ, postoperativ und zu den Nachuntersuchungszeitpunkten erfolgte die Beurteilung der subjektiven Schmerzsituation mit Hilfe einer visuellen Analogskala (VAS). Die Patienten wurden gebeten, auf einer Skala nummeriert von null bis zehn das eigene Schmerzempfinden anzugeben (siehe Abb. 23). Der Minimalwert von null stellt dabei

keinen Schmerz und völliges Wohlbefinden dar, wohingegen der Maximalwert von zehn den stärksten, kaum zu tolerierenden Schmerz bedeutet (Voggenreiter et al., 2008).

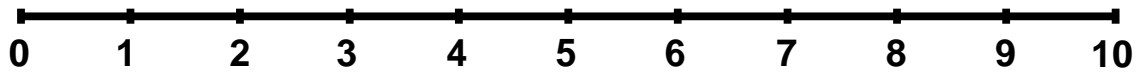


Abb. 23: VAS Skala

2.3.2 Oswestry-Low-Back-Pain-Disability Questionnaire

Mit dem „Oswestry-Low-Back-Pain-Disability Questionnaire“ wurde der Patient in einem festgelegten Schema bezüglich seiner Schmerzen im Alltag befragt (Fairbank et al., 1980). Dieser Fragebogen wurde entworfen, um einzuschätzen, in wie weit die Rücken- oder Beinschmerzen die Lebensqualität den Patienten beeinträchtigen. Es handelte sich um einen standardisierten Fragebogen, der Vergleiche mit anderen Studien ermöglichte. Der Fragebogen war aus den zehn Fragen aufgebaut, die die Lebensqualität der Patienten wiedergeben sollten (siehe Anhang).

2.4 Statistik

Die statistische Auswertung der vorliegenden Daten wurde mit dem Computerprogramm SPSS Statistics 17.0 für Windows durchgeführt. Die Ergebnisse wurden mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Microsoft Excel 2007 dargestellt. Das Signifikanzniveau wurde bei $p = 0,05$ festgelegt.

2.4.1 Arithmetisches Mittel

Der arithmetische Mittelwert (\bar{x}) von Messwerten ist definiert durch die Summe aller Beobachtungswerte dividiert durch deren Anzahl (Puhani, 2001)

$$\bar{x}_{\text{arithm}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Abb. 24: Formel für die Berechnung des arithmetischen Mittel (modifiziert nach Puhani 2001)

2.4.2 Standardabweichung

Die Standardabweichung (s) eines gegebenen Datensatzes wird abgeleitet von der Varianz, also dem arithmetischen Mittelwert aller quadrierten Abweichungen der Daten von ihrem arithmetischen Mittel und gilt als Maß für die Streuung der Werte. Sie ergibt sich aus der Quadratwurzel der Varianz. Abbildung 25 zeigt die Formel der Standardabweichung.

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Abb. 25: Formel für die Berechnung der Standardabweichung (modifiziert nach Bamberg und Bauer, 2001)

2.4.3 Varianzanalyse

Die Varianzanalyse wird verwendet, um mehrere Mittelwerte eines Parameters zu vergleichen. Werden mehrere Gruppierungsmerkmale gleichzeitig analysiert, spricht man von einer mehrfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA).

$$r_{xy} = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} \quad -1 \leq +1$$

Abb. 26: Formel für die Berechnung der Varianz (modifiziert nach Bomsdorf, 2002 a)

2.4.4 Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson

Bei zwei metrischen Merkmalen (X,Y) mit positiver Varianz kann die Stärke des linearen Zusammenhangs mit dem Korrelationskoeffizienten (r_{XY}) von Bravais-Pearson gemessen werden (Bomsdorf, 2002 b).

$$r_{xy} = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} \quad -1 \leq r_{xy} \leq +1$$

Abb. 27: Korrelationskoeffizient (modifiziert nach Bomsdorf, 2002 b)

Für alle induktiven, statistischen Verfahren wurden die folgenden Signifikanzschranken verwendet:

p > 0,05	=	nicht signifikant
p ≤ 0,05	=	signifikant

Abb. 28: Signifikanzschranken

3. Ergebnisse

3.1 Patienten

Die 30 Patienten, neun Männer (30 %) und 21 Frauen (70 %) wurden präoperativ nach Ihren Beschwerden befragt

Von diesen operierten Patienten unterzogen sich 27 Patienten (90%), neun Männer (100%) und 18 Frauen (85,7%), mindestens einer radiologischen Nachuntersuchung.

Zum Zeitpunkt der Operation lag das Durchschnittsalter bei 73 Jahren, die Frauen waren im Durchschnitt mit 75 Jahren (min. 63, max. 88 Jahre) geringfügig älter als die Männer mit 69 Jahren (min. 57, max. 82 Jahre) (Abb. 16).

3.2 Schmerzen

Das subjektive Schmerzempfinden wurde in Abhängigkeit zu den unterschiedlichen Zeiträumen mit Hilfe der Visual Analog Skala (VAS) erhoben und miteinander verglichen.

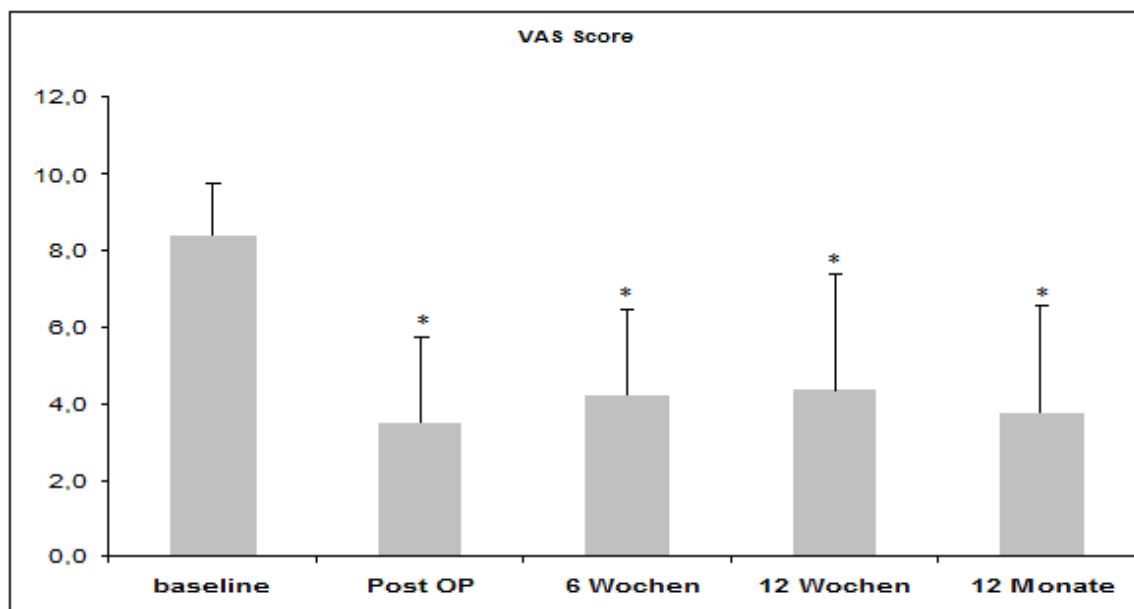


Abb. 29: VAS Score

* signifikant

Zum Zeitpunkt vor der Operation betrug der Durchschnittswert des Schmerzempfindens der 30 Patienten 8,38 ($\pm 1,38$) von dem maximal möglichen Wert von zehn. Einen Tag nach der Operation betrug der Durchschnittswert 3,5 ($\pm 2,22$) (ca. 41,7% vom Ausgangswert). Nach sechs Wochen 4,22 ($\pm 2,23$) (ca. 50,3%), nach zwölf Wochen 4,36 ($\pm 3,05$) (ca. 52,0%) und nach einem Jahr 3,73 ($\pm 2,82$) (ca. 44,5%). Zu allen Nachuntersuchungszeitpunkten war die Schmerzreduktion im Vergleich zum Ausgangswert als signifikant einzustufen mit einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$.

In Abhängigkeit vom Frakturalter stellte sich die Verteilung der Schmerzintensität zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten wie folgt dar:

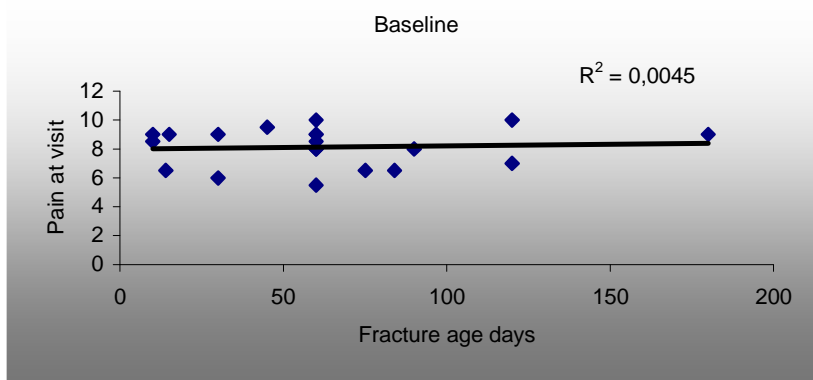


Abb. 30: Korrelation Frakturalter zu Schmerzintensität zum Zeitpunkt der Ausgangssituation (n=17)

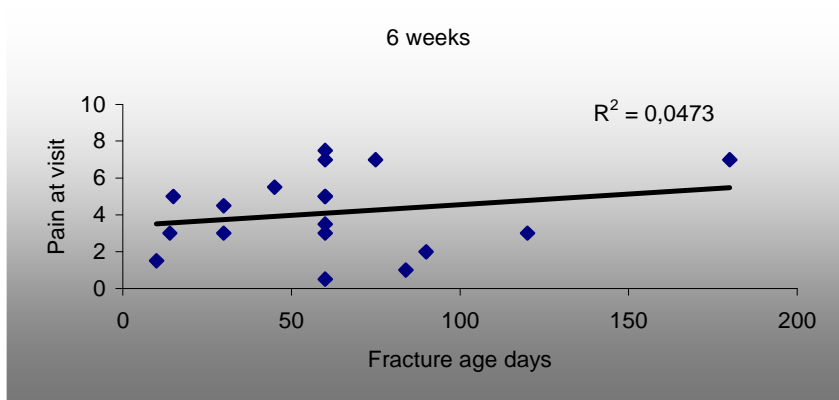


Abb. 31: Korrelation Frakturalter zu Schmerzintensität sechs Wochen nach Operation (n=17)

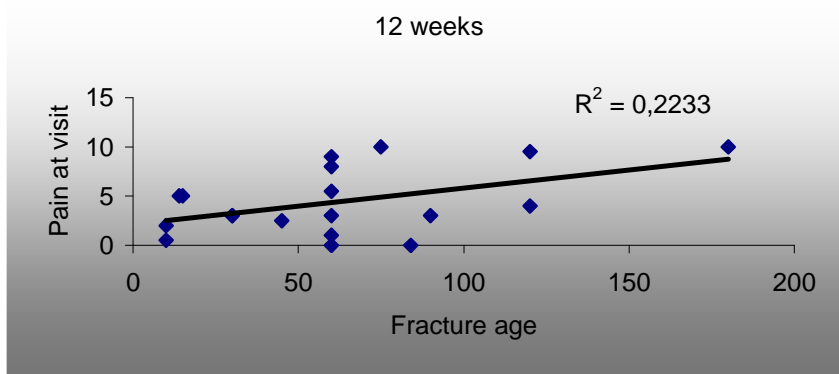


Abb. 32: Korrelation Frakturalter zu Schmerzintensität zwölf Wochen nach Operation (n=17)

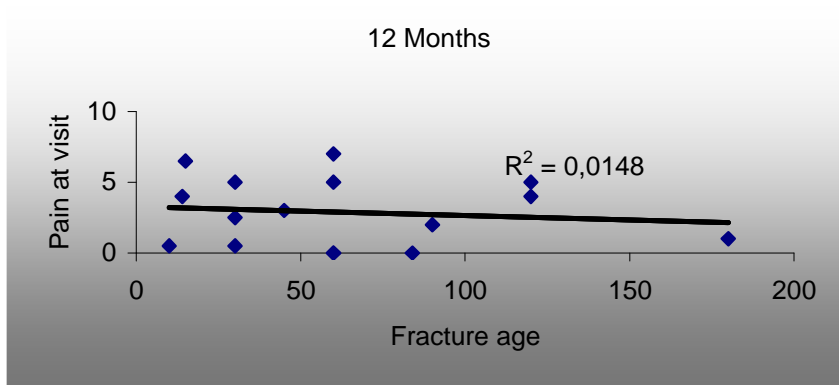


Abb. 33: Korrelation Frakturalter zu Schmerzintensität zwölf Monate nach Operation (n=15)

Somit lässt sich kein direkter Zusammenhang zwischen dem Frakturalter und der Schmerzintensität erkennen.

3.3 Oswestry-Low-Back-Pain-Disability Questionnaire

Die Lebensqualität wurde mit Hilfe des Oswestry-Low-Back-Pain-Disability Questionnaire nach Fairbank (siehe Anhang) ermittelt und untereinander verglichen. Um die Werte besser untereinander vergleichen zu können, wurde die Frage acht des Fragebogens nicht in die Wertung genommen, da nicht alle Patienten diese Frage beantwortet hatten. So bestand

der Fragebogen dieser Studie zur Beurteilung der Lebensqualität aus lediglich neun Fragen. Der Maximalwert betrug dementsprechend 45, wobei der Minimalwert bei null unverändert blieb. Unmittelbar postoperativ wurden die Patienten nicht nach ihrer Lebensqualität befragt, da sie dies unmittelbar nach der Operation noch nicht beurteilen konnten.

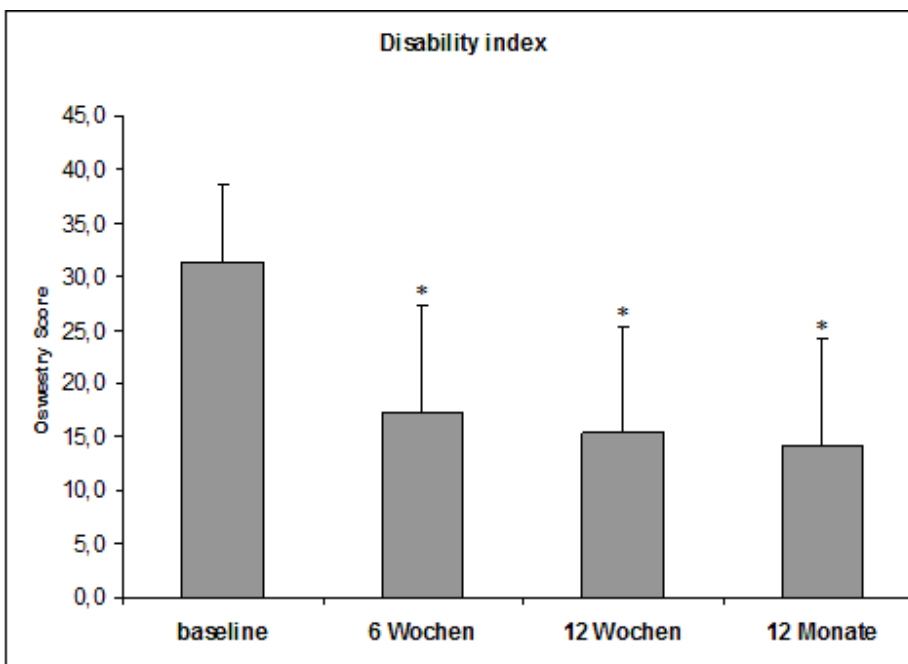


Abb. 34: Lebensqualitätsindex des Patientenkollektivs prä- und postoperativ (n=26 nach 6 Wochen; n=27 nach 12 Wochen; n= 24 nach 12 Monaten)

* signifikant

Der Ausgangsdurchschnittswert lag bei 31,27 ($\pm 7,44$) von einem möglichen Wert von 45. Nach sechs Wochen betrug der Durchschnittswert 17,23 ($\pm 9,99$) (ca. 55,1% des Ausgangswertes), nach zwölf Wochen 15,44 ($\pm 9,85$) (ca. 49,4%) und nach einem Jahr 14,29 ($\pm 9,96$) (ca. 45,7%). Bezogen auf den Ausgangswert hatte sich die Lebensqualität durch die Operation im Untersuchungszeitraum signifikant verbessert mit einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$. In Abhängigkeit vom Frakturalter stellt sich die Verteilung der Lebensqualität zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten wie folgt dar:

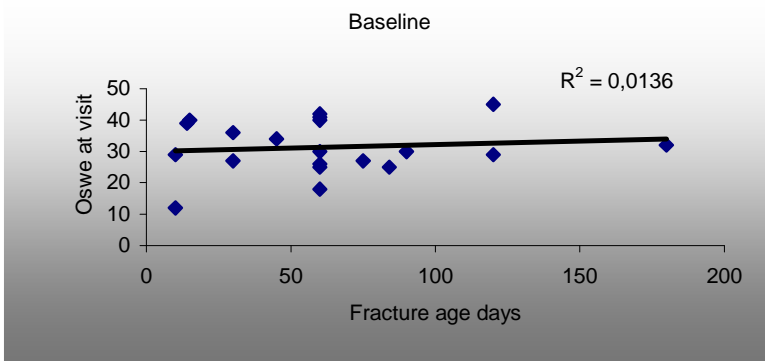


Abb. 35: Korrelation Frakturalter zu Lebensqualität zum Zeitpunkt der Ausgangssituation (n=17)

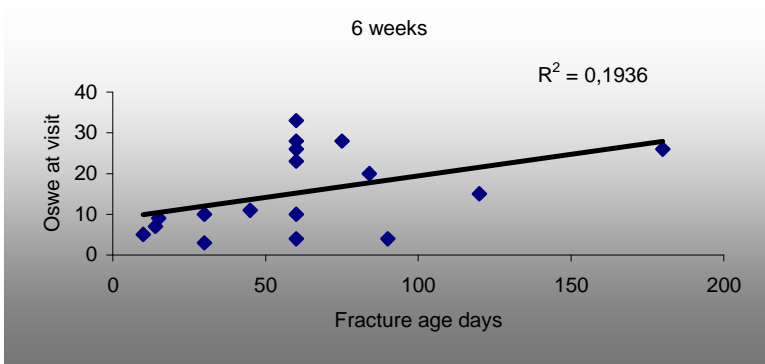


Abb. 36: Korrelation Frakturalter zu Lebensqualität sechs Wochen nach Operation (n=17)

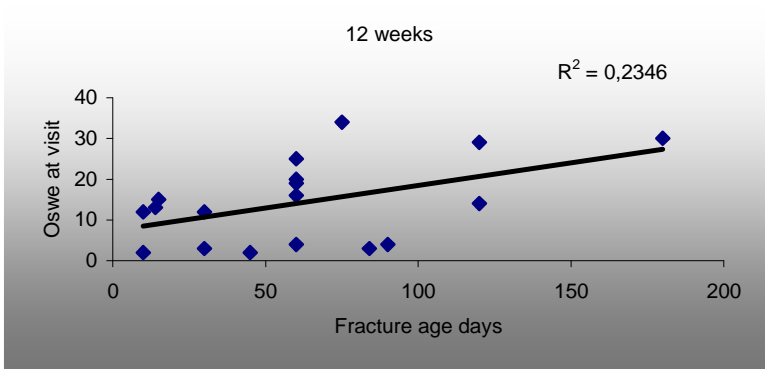


Abb. 37: Korrelation Frakturalter zu Lebensqualität zwölf Wochen nach Operation (n=17)

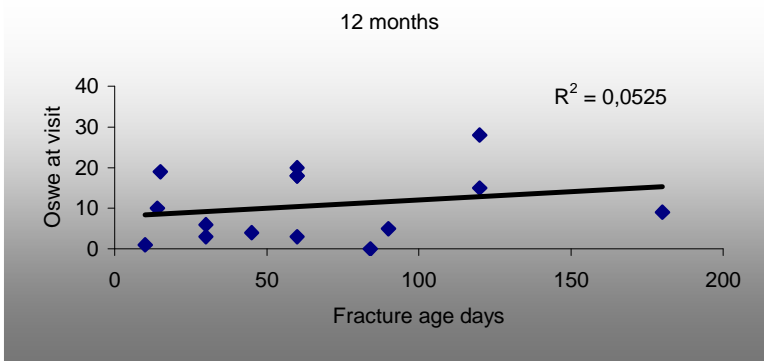


Abb. 38: Korrelation Frakturalter zu Lebensqualität zwölf Monate nach Operation (n=14)

Eine direkte Korrelation zwischen dem Frakturalter und der Lebensqualität konnte demnach nicht nachgewiesen werden

3.4 Radiologische Wirbelkörperhöhe prä- und postoperativ

Alle operierten Wirbelkörper wurden prä- und postoperativ vermessen. So wurde jeweils die Wirbelkörperhöhe an der Vorder- und Hinterkante, als auch in der Mitte des Wirbelkörpers bestimmt. Zusätzlich wurde der Kyphosewinkel vor und nach der Operation ausgemessen. Dieses Prozedere (siehe Material und Methoden) erfolgte bei allen stattgefundenen radiologischen Kontrollen.

Es wurden 20 thorakale und 17 lumbale Wirbelkörper operiert und somit vermessen. Die Verteilung der Wirbelkörperfrakturen stellt sich wie folgt dar:

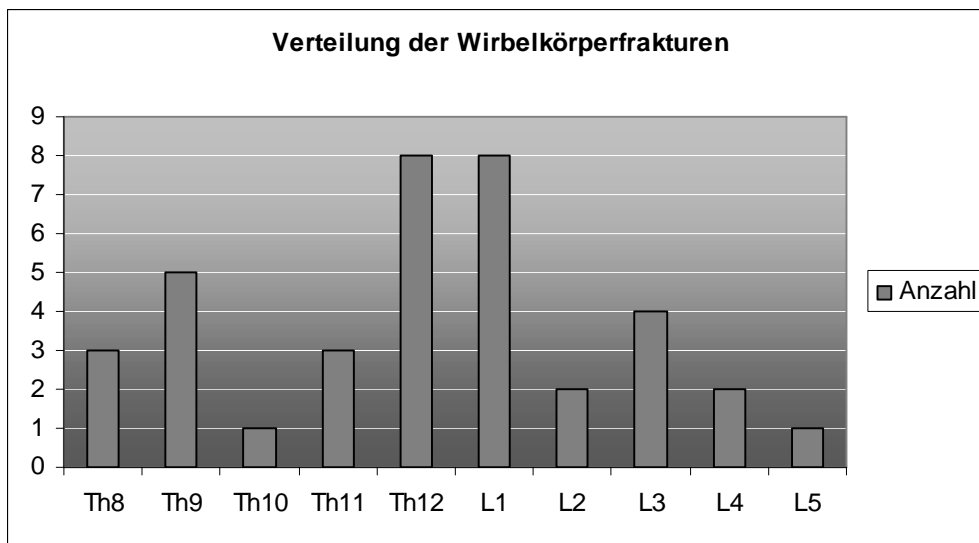


Abb. 39: Verteilung der Wirbelkörperfrakturen

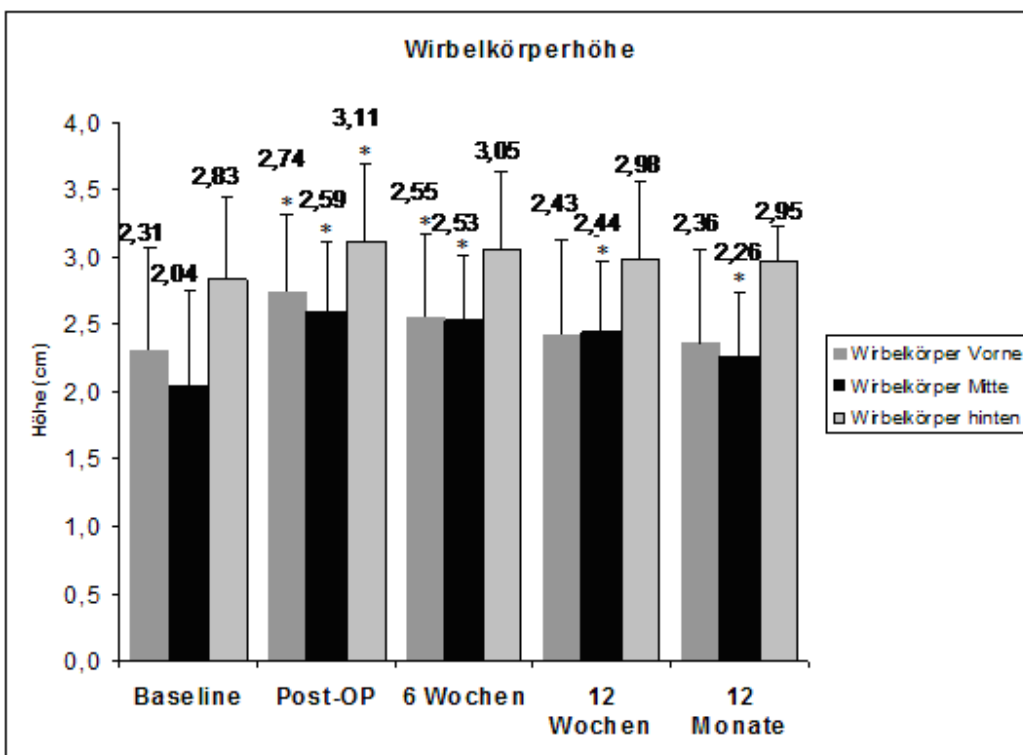


Abb. 40: Wirbelkörperhöhe zu unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten

* signifikant

Zum Zeitpunkt vor der Operation betrug die durchschnittliche Wirbelkörperhöhe an der Vorderkante 2,31cm ($\pm 0,74$), in der mittleren Höhe 2,04cm ($\pm 0,70$) und an der Hinterkante

2,83cm ($\pm 0,62$). Einen Tag nach der Operation wurde eine Höhe der Vorderkante von 2,74cm ($\pm 0,58$) (ca. 118,6% der Ausgangshöhe), der mittleren Höhe von 2,59cm ($\pm 0,51$) (ca. 127,0%) und der Hinterkante von 3,11cm ($\pm 0,59$) (ca. 110,0%) ermittelt. Das Verhältnis der Vorkante, der Hinterkante und der mittleren Höhe zum Ausgangswert ist als signifikant einzustufen. Nach sechs Wochen zeigten die Daten eine Höhe der Vorderkante von 2,55cm ($\pm 0,60$) (ca. 110,4%), eine mittlere Höhe von 2,53cm ($\pm 0,47$) (ca. 124,0%) und eine Höhe der Hinterkante von 3,05cm ($\pm 0,59$) (ca. 107,8%). Das Verhältnis zu den präoperativen Werten ist nach sechs Wochen an der Vorderkante und an der mittleren Höhe signifikant, doch an der Hinterkante nicht signifikant. Nach zwölf Wochen wiesen die Vorderkante einen Wert von 2,43cm ($\pm 0,70$) (ca. 105,2%), die mittlere Höhe einen Wert von 2,44cm ($\pm 0,52$) (ca. 119,6%) und die Hinterkante einen Wert von 2,98cm ($\pm 0,58$) (ca. 105,3%) auf. Die Veränderung der Wirbelkörperhöhe nach 12 Wochen zum Ausgangswert ist an der Vorder- und Hinterkante nicht signifikant, hingegen der signifikanten Veränderung der mittleren Höhe. Die Ergebnisse nach einem Jahr zeigten eine Höhe der Vorderkante von 2,36cm ($\pm 0,69$) (ca. 102,2%), eine mittlere Höhe von 2,26cm ($\pm 0,46$) (ca. 110,8%) und der Hinterkante von 2,95cm ($\pm 0,27$) (ca. 104,2%). Die Differenz zu den Werten zum Diagnosezeitpunkt ist an der Vorder- und Hinterkante nicht signifikant, indessen der Wert an der mittleren Höhe signifikant.

Zusammenfassend beträgt die Aufrichtung der Vorderkante etwa 2-19%, die der mittleren Höhe zwischen 11-27% und die der Hinterkante etwa 5%- 11%.

Die höchste Aufrichtung erfolgte im Wesentlichen in der mittleren Höhe.

3.5 Kyphosewinkel prä- und postoperativ

Wie in Abbildung 19 beschrieben wurde bei jeder radiologischen Untersuchung der Kyphosewinkel in Grad bestimmt. Der durchschnittliche Kyphosewinkel betrug präoperativ 9,27°. Durch die Aufrichtung des Wirbelkörpers durch die Nitinolspangen des Xvoid-Instrumentariums wurde der Kyphosewinkel verringert.

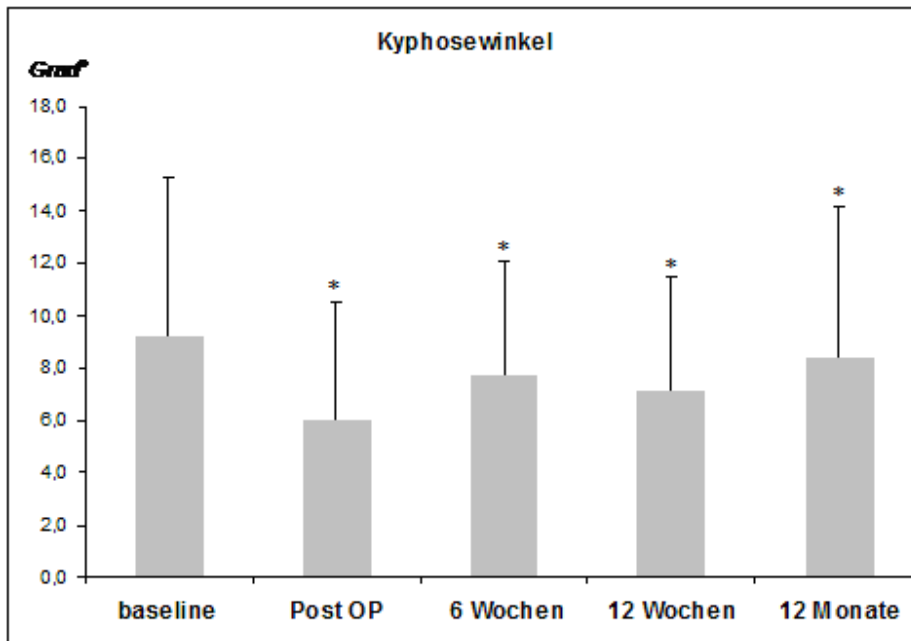


Abb. 41: Kyphosewinkel zu unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten

* signifikant

Bei der ersten Bildgebung nach der Operation wurde ein Winkel im Mittel von $6,06^{\circ}(\pm 4,49)$ (ca. 65,3% vom Ausgangswert) gemessen, welches eine signifikante Veränderung zum Ausgangswert darstellt. Nach sechs Wochen wurde ein Winkel von $7,72^{\circ}(\pm 4,37)$ (ca. 83,3%), nach zwölf Wochen von $7,18^{\circ}(\pm 4,29)$ (ca. 77,5%) und nach einem Jahr von $8,36^{\circ}(\pm 5,78)$ (ca. 90,2%) ermittelt. Die Werte stellen somit nach sechs Wochen, nach zwölf Wochen und zwölf Monaten eine signifikante Veränderung zum Ausgangswert dar.

Die errechnete Aufrichtung beträgt im Mittel postoperativ $3,15^{\circ}(\pm 3,38)$, nach 6 Wochen $3,31^{\circ}(\pm 3,93)$, nach zwölf Wochen $2,97^{\circ}(\pm 4,80)$ und nach einem Jahr noch $2,50^{\circ}(\pm 2,85)$.

3.6 Compliance

Die Bereitschaft der Patienten an Nachkontrollen und weiteren Befragungen teilzunehmen war sehr unterschiedlich. Die meisten Befragungen des VAS und des „Oswestry-Low-Back-Pain-Disability Questionnaire“ wurden telefonisch oder persönlich durchgeführt und wiesen eine größere Compliance auf, als die der radiologischen Nachkontrollen, die einen größeren zeitlichen Aufwand für die Patienten bedeutete. Graphisch stellte sich die Compliance wie folgt dar:

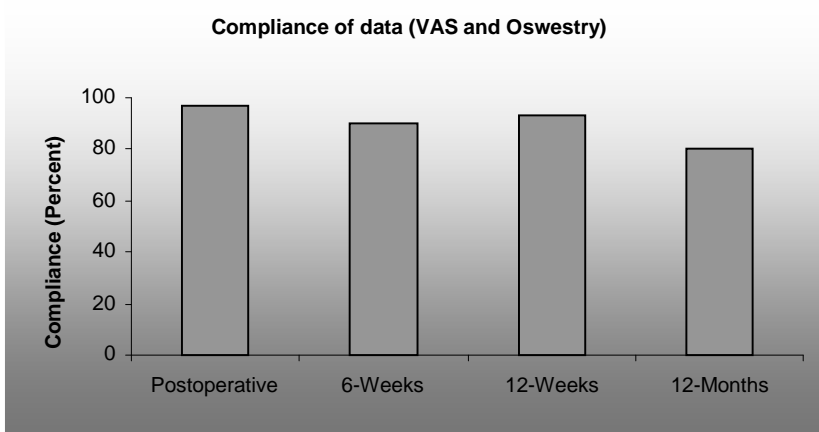


Abb. 42: Compliance der Patienten bezogen auf die Befragung zu Ihrer Schmerzsituation (VAS und Oswestry)

Von den 30 behandelten Patienten wurde bei 29 (96,7%) Patienten eine postoperative Befragung bezüglich ihrer Schmerzen durchgeführt. Nach sechs Wochen konnten 27 (90%), nach zwölf Wochen 28 (93,3%) und nach einem Jahr schließlich 24 (80%) Patienten Auskunft über ihre Schmerzsituation geben (siehe Abb. 42).

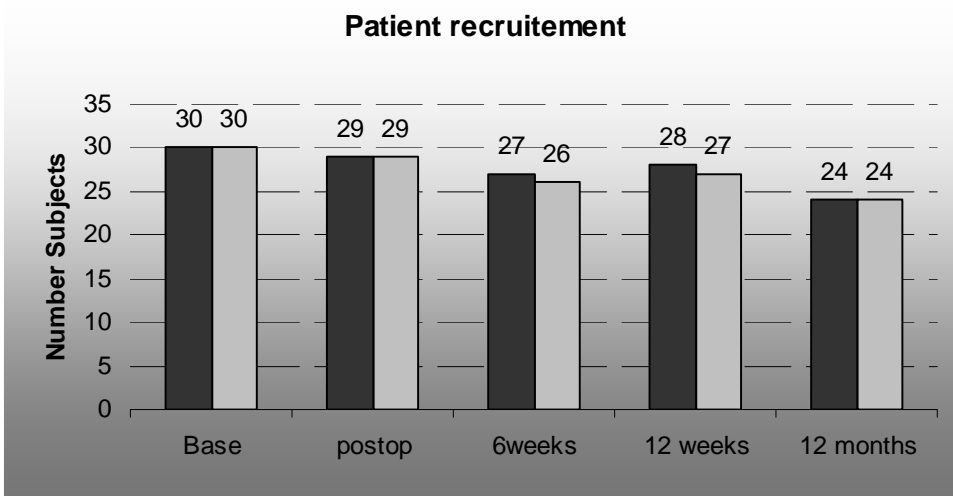


Abb. 43: Patientenausscheiden im Verlauf der Studie

Bei der Anzahl an radiologischen Nachkontrollen sah die Compliance wie folgt aus.

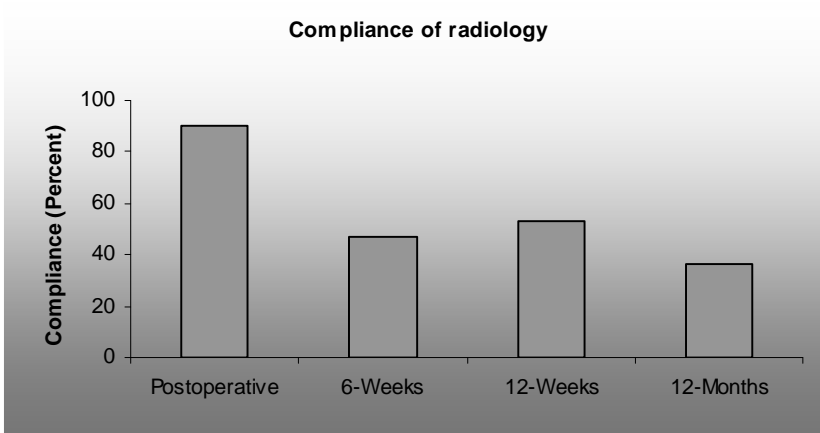


Abb. 44: Compliance der Patienten bezogen auf radiologische Nachkontrollen

Bei 27 Patienten (90%) wurde eine radiologische Nachkontrolle durchgeführt, um postoperativ den Kyphosewinkel und die Wirbelkörperhöhe zu bestimmen. Nach sechs Wochen waren noch 14 (47%), nach zwölf Wochen noch 16 (53%) und nach einem Jahr noch elf (37%) Patienten bereit oder in der Lage an Nachkontrollen teilzunehmen.

3.7 Zementaustritte/ Komplikationen

Bei 5 der 30 behandelten Patienten kam es im Zeitraum der Nachbehandlungen zu weiteren Frakturen der benachbarten Wirbelkörper, die daraufhin erfolgreich mit Kyphoplastie behandelt werden konnten. Dies entspricht 16,6% der Fälle. Bei drei Patienten konnte anhand der Röntgenbilder ein Zementaustritt beobachtet werden, welches einem Prozentsatz von 10% entspricht. Keiner der Zementaustritte hatte klinische Konsequenzen oder neurologische Symptome zur Folge.

4. Diskussion

Zur operativen Behandlung von osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen im Stadium A1 oder A2.1 nach der Einteilung der AO und Margerl et al. 1994 stehen als minimal invasive, zementaugmentierende Verfahren zur Verfügung: Die Vertebroplastie, die Lordoplastie und die Kyphoplastie.

Bis heute hat sich keines der drei konkurrierenden Verfahren mit letzter Deutlichkeit gegen die anderen durchgesetzt. Die wissenschaftliche Diskussion diesbezüglich ist noch nicht abgeschlossen. Aus mehreren Gründen scheint sich jedoch die Kyphoplastie durchzusetzen (Kasperk et al., 2005).

Einer der wichtigsten Gründe hierfür ist, dass die Hauptkomplikation der Vertebroplastie, die Zementextrusion in umgebenes Gewebe und in das vaskuläre System, bei der Kyphoplastie nachgewiesenerweise deutlich seltener auftritt (Heini et Orlor, 2004; Kasperk et al., 2008; De Negri et al., 2007). Zudem vermutet man, dass durch die Kyphoplastie eine Wirbelkörperaufrichtung besser als bei der Vertebroplastie erreicht werden kann (Phillips et al., 2002; Boonen et al., 2008; Hiwatashi et al., 2006).

In der vorliegenden Studie wird kein erneuter Vergleich zwischen den einzelnen Verfahren gezogen, wie es in zahlreichen Publikationen zwischen der Vertebroplastie und der Kyphoplastie zu finden ist (Birkenmaier et al., 2008; Kasperk et al., 2008; Grohs et al., 2005; De Negri et al., 2007) sondern ein Vergleich mittels Literaturrecherche zwischen den bereits veröffentlichten Ergebnissen der Ballonkyphoplastie und den hier gesammelten Resultaten der Kyphoplastie mit Xvoid angestellt.

4.1 Schmerzreduktion

Bei der Beurteilung der Schmerzreduktion, die auch in dieser Studie mittels VAS-Score erfasst wurde, ist zu bedenken, dass Schmerz schwierig zu definieren als auch zu beschreiben ist, und zudem von den Patienten sehr unterschiedlich geschildert wird.

Ebenfalls ist es für den Patienten schwierig, eigene Schmerzdarstellungen der Probanden in den institutionellen medizinischen Kontext zu übertragen. Der Schmerz stellt ein subjektives Empfinden dar und lässt nur in seltenen Fällen ein Vergleich zwischen den einzelnen Probanden zu. Auch sind geschlechtsabhängige Unterschiede in Untersuchungen zu erkennen, wenn auch nicht zu pauschalisieren (Menz et al., 2009).

Trotz diesem Umstand stellt die Reduktion des subjektiven Schmerzempfindens eins der Hauptziele der Behandlung von osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen dar. Wie bereits beschrieben, berichteten 100% der Patienten bei dieser Untersuchung (nach dem VAS-Score) eine nennenswerte Schmerzreduktion zu verspüren.

Die durchschnittliche Punktzahl des VAS-Scores betrug vor der Operation 8,38 und erreichte nach erfolgter Kyphoplastie einen Wert zwischen 3,5 bis 4,26 Punkten. Die postoperative Schmerzreduktion war damit zu allen Untersuchungszeitpunkten signifikant. In der Literatur wurden vergleichbare Ergebnisse von Theodorou et al., (2002) sowie von Voggenreiter et al. (2008) beschrieben. In der Untersuchung von Voggenreiter et al. beschrieben 95,4% der Patienten (83/87) eine postoperative Schmerzreduktion ermittelt am VAS. Die Schmerzen besserten sich von 7,8 (\pm 2,4) auf 2,0 (\pm 1,5). Bei der Metaanalyse von Theodorou et al. berichteten alle 15 Patienten (100%) postoperativ über eine signifikante Schmerzreduktion. Insofern spiegeln die Ergebnisse dieser Studie das aus der Literatur bekannte Ergebnis wieder. Auch mittels des Xvoid Systems ist eine signifikante Schmerzreduktion möglich.

4.2 Lebensqualität

Um die Lebensqualität mittels des in dieser Studie verwendeten Oswestry-Score einschätzen zu können, muss bedacht werden, dass die untersuchten Patienten bereits ein fortgeschrittenes Alter erreicht hatten und meist nicht nur an einer einzelnen Wirbelkörperfraktur litten, sondern weitere Nebendiagnosen aufwiesen. Dies schränkte die Patienten ebenfalls in ihrer Lebensqualität ein und beeinflusste damit die Werte des Oswestry-Scores. In dieser Studie wurden Nebendiagnosen wie Beinschmerz, Diabetes,

Arthrose, neurologische Krankheiten wie Parkinson und Guillan-Barre- Syndrom (BGS), Krankheiten des rheumatoiden Formenkreises, Zustand nach Hüftkopfdoprothese, kompensierte Niereninsuffizienz, Herzschrittmacherimplantation, Pflegestufe zwei bedingt durch zwei Herzinfarkte und ein behandeltes Aortenaneurysma angegeben. Daher ist hier ein direkter verwertbarer Vergleich mit anderen Studien schwierig. Das Ziel des Xvoid Verfahrens, mittels Zementaugmentierung des frakturierten Wirbelkörpers die Lebensqualität zu steigern, konnte erreicht werden. So verbesserte sich die Lebensqualität bewertet nach dem Oswestry-Score der behandelten Patienten nach einem Jahr von zuvor 31,27 ($\pm 7,44$) auf 14,29 ($\pm 9,96$). Dies entspricht einer signifikanten Verbesserung im Untersuchungszeitraum von durchschnittlich mehr als 50%. Im Vergleich zu anderen Studien wurde nach einem Jahr eine durchschnittliche Lebensverbesserung gemessen am Oswestry-Score von 45,5% (Pflugmacher et al., 2005) von 25% (Khanna et al., 2006) und von 48,8% (Pend et al., 2009) angegeben.

4.3 Kyphosewinkel

Ein adäquaterer Vergleich der publizierten Ergebnisse über Kyphoplastie ist zwischen den radiologisch gewonnenen Ergebnissen möglich. Der Kyphosewinkel reduzierte sich in dieser Arbeit etwa zwischen einem und drei Grad. In der Publikation von Rhyne et al. im Jahre 2004 verringerte sich der Cobb- Winkel um $3,6^\circ$ und nicht der Kyphosewinkel (Rhyne et al., 2004). Der Cobb-Winkel beschreibt den Winkel zwischen der Deckplatte des benachbarten, intakten oberen Wirbelkörpers und der Grundplatte des benachbarten, intakten unteren Wirbelkörpers, als Ausdruck der Kyphose des verletzten Wirbelsäulensegmentes. Man schreibt diesem eine Aufrichtung von $3,6^\circ$ zu. Dasselbe Messverfahren verwendeten Blattert und Weckbach aus dem Jahre 2004, wobei hier von einer Aufrichtung des Cobb-Winkels von $5,4^\circ$ berichtet wurde. Phillips et al. aus dem Jahre 2003 erzielten sogar eine Aufrichtung des Cobb-Winkels von $8,8^\circ$ in seinen Untersuchungen (Blattert und Weckbach, 2004; Phillips et al., 2003).

2002 veröffentlichten Theodorou et al. ihre Ergebnisse mit der gleichen Messmethode wie in dieser Studie, wobei bei seinen Patienten eine Aufrichtung der Wirbelkörper, gemessen an Hand des Kyphosewinkels, von $9,9^\circ$ ermittelt wurde (Theodorou et al., 2002). Berlemann et al. publizierten 2004 die Resultate mit einem Kyphosewinkel mit 8% Aufrichtung (Berlemann et al., 2004). Voggenreiter et al. berichten 2008 über eine Reduktion des Kyphosewinkels von $12,5^\circ$ auf $6,9^\circ$, welches eine Aufrichtung von durchschnittlich $5,6^\circ$ bedeutete (Voggenreiter et al., 2008).

Über die verschiedenen Studien bezüglich der Verringerung des Kyphosewinkels nach Kyphoplastie, lässt sich zusammenfassend sagen, dass ein Vergleich der bisher publizierten Arbeiten schwierig ist, da in den jeweiligen Arbeiten meist unterschiedliche Parameter und Messmethoden verwendet wurden (siehe oben). Dennoch lässt sich feststellen, dass bei den genannten Studien eine durchschnittliche Reduktion der Kyphose zwischen fünf und zehn Grad festgestellt werden konnte (Berlemann et al., 2007). Die ermittelten Ergebnisse dieser Untersuchung liegen mit einem bis drei Grad Kyphosereduktion schlechter als die genannten Werte, so dass man schlussfolgern muss, dass hinsichtlich des Parameters Wirbelaufrichtung das Xvoid System der Ballonkyphoplastie unterlegen ist.

4.4 Wirbelkörperaufrichtung

Andere Studien beurteilten die Wirbelkörperaufrichtung nicht am Kyphosewinkel, sondern zogen die gemessene Wirbelkörperhöhe zum Vergleich heran. Hillmeier et al. 2004 erzielten durch den Eingriff eine Aufrichtung der Wirbelkörperhöhe von 16% (Hillmeier et al., 2004). In der Metaanalyse von Ledlie et al. 2003 wurde von einer Aufrichtung der anterioren Wirbelkörperhöhe von 23% berichtet (Ledlie et al., 2003). Die größte Patientenzahl und den längsten Untersuchungszeitraum wiesen Majd et al. mit seiner Veröffentlichung im Jahre 2005 auf. Dabei kontrollierten sie 222 Patienten im Zeitraum von 21 Monaten nach erfolgter Kyphoplastie und konnten dabei eine Aufrichtung der anterioren Wirbelkörperhöhe von 8% verzeichnen (Majd et al., 2005). Wilhelm et al. benutzten 2003

zur Beurteilung der Wirbelkörperaufrichtung den sagittalen Index. Dieser Index, auch Beck'scher Koeffizient genannt, ist der Quotient aus Vorder- und Hinterkantenhöhe des gebrochenen Wirbels, welcher eine gute Beurteilung der Wirbelkörperdeformierung unabhängig vom Film-Fokus-Abstand zulässt. Bei den 34 Patientendaten, die innerhalb eines Zeitraums von weniger als sechs Monate gesammelt wurden, wurde ein sagittaler Index von $6,5^\circ$ gemessen (Wilhelm et al., 2003). Auch hier ist ein Vergleich der bisher publizierten Arbeiten nicht unproblematisch, da in den jeweiligen Arbeiten ebenfalls unterschiedliche Parameter und Messmethoden verwendet wurden. Dennoch sind die Ergebnisse dieser Arbeit bezüglich der Wirbelkörperaufrichtung der mittleren Höhe von 11-27% vergleichbar mit anderen Ergebnissen nach Kyphoplastie, wie die Aufrichtung von 16% der mittleren Höhe z. B. bei Hillmeier et al. (2004). Erstaunlich ist, dass vergleichbare Ergebnisse bei der Aufrichtung der Wirbelkörperhöhe, aber nicht bei der Kyphosewinkelreduktion erzielt werden konnte. Der Grund dafür könnte sein, dass durch das Aufspreizen der Spangen überwiegend ein Druck auf die mittlere Höhe zur Aufrichtung, jedoch kein ausreichender Druck zur Kyphosereduktion ausgeübt wird im Vergleich zur Ballonkyphoplastie. Dennoch bleibt zu beachten, dass wegen der unterschiedlichen Messmethoden ein direkter Vergleich nur bedingt gestattet ist.

4.5 Compliance

Die Bereitschaft oder Möglichkeit der Patienten an Nachkontrollen teilzunehmen wurde von vielen Faktoren beeinflusst. (siehe 4.3. Lebensqualität)

Die eingeschränkte Mobilität und der Allgemeinzustand der Probanden machte eine Nachkontrolle oft nicht möglich, so dass sich die Patienten nicht in der Lage sahen an einer radiologischen Nachuntersuchung teilzunehmen. Auch diverse Komorbiditäten verhinderten einen erneuten Untersuchungstermin. Überraschenderweise wurde die Compliance etwa in gleichem Maße von der gegenteiligen Situation, der Schmerzfreiheit der Patienten, negativ beeinflusst. So hielten einige Patienten nach eigenen Angaben die Nachkontrollen nicht

mehr für nötig, da sie subjektiv beschwerdefrei waren, und erschienen nicht zur Nachkontrolle. Zudem verstarben zwei Patienten im Nachkontrollzeitraum.

In seltenen Fällen wurden andere Begründungen für das Nichterscheinen zu den Untersuchungsterminen angegeben, wie das Meiden von Röntgenstrahlen, Unzufriedenheit mit dem Krankenhausaufenthalt oder mangelndes Interesse an weiteren Untersuchungen.

Ein Vergleich zu anderen Studien ist hier nicht wirklich aussagekräftig.

4.6 Frakturalter

Es konnte in dieser Studie kein Zusammenhang zwischen dem Frakturalter und der Schmerzreduktion oder der Verbesserung der Wirbelsäulendeformität festgestellt werden. Diese Ergebnisse decken sich mit den Resultaten anderer Studien (Majd et al., 2005; Voggenreiter et al., 2008). Ein Grund hierfür könnte sein, dass sich das genaue Alter der Frakturen nicht mit Sicherheit bestimmen lässt, da die Altersbestimmung meist auf dem Beginn der Schmerzsymptomatik beruht (vgl. Abb. 28-31 und Abb. 33-36 bei Ergebnisse).

4.7 Patientenkollektiv/Zeitraum

Beim Vergleich des in dieser Arbeit zur Verfügung stehenden Patientenkollektiv (30 Patienten) lässt sich feststellen, dass sich die Anzahl und Altersverteilung (siehe Abb. 16) nicht wesentlich von ähnlich angelegten Studien unterscheiden (Lieberman et al., 2001; Berlemann et al., 2001; Wilhelm et al., 2003; Philipps et al., 2003; Voggenreiter et al., 2008).

Die größte Patientenzahl und den längsten Untersuchungszeitraum wiesen Majd et al. mit ihrer Veröffentlichung im Jahre 2005 auf. Dabei kontrollierten sie 222 Patienten im Zeitraum von 21 Monaten nach erfolgter Kyphoplastie.

Die geringste Teilnehmerzahl wiesen Theodorou et al. bei ihrer Veröffentlichung 2002 auf, wo sie ihre Ergebnisse, die sie an 15 Patienten erhoben hatten, publizierten.

Der Zeitraum zwischen der Operation und der Nachuntersuchung liegt in dieser Arbeit zwischen ein bis zwei Tagen postoperativ und zwölf Monaten. Somit erlauben die Ergebnisse einen Vergleich mit den oben beschriebenen Studien. Die Nachuntersuchungszeiträume anderer Untersuchungen stimmen in den meisten Fällen mit dem gewählten Zeitrahmen dieser Studie überein.

4.8 Komplikationen

Eine der häufigsten Komplikation bei der Kyphoplastie stellt der Zementaustritt aus dem Wirbelkörper dar. Zu der Rate der Zementaustritte bei der Versorgung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen mittels Kyphoplastie liegen die Ergebnisse weit gestreut zwischen 8,6 und 40,1%. (Liebermann et al., 2001; Blattert und Weckbach., 2004) Jedoch sind diese in der überwiegenden Mehrzahl klinisch unbedeutend und haben nur in seltenen Fällen neurologische Störungen zur Folge (Voggenreiter et al., 2008).

So wurden in dieser Studie mit Xvoid in 10% der Fälle Zementaustritte beobachtet und in 16,6% der Fälle kam es zu erneuten Frakturen der benachbarten Wirbelkörper. In der Literatur schwanken die Fälle des Zementaustrittes zwischen 19,3% (Voggenreiter et al. 2008), 33% (Berlemann et al., 2002) und 40,1% (Blattert und Weckbach, 2004), wohingegen Philipps et al. 9,8% und Lieberman et al. 8,6% der Fälle angeben (Philipps et al., 2002; Lieberman et al., 2001). Diese Schwankungen sind vermutlich durch die unterschiedlichen bildgebenden postoperativen Kontrollverfahren mittels CT oder dem konventionellen Röntgen zu erklären. Hierbei ist zu bemerken, dass mittels CT eine bessere Erkennung ermöglicht wird und somit die Zementaustrittsrate drastisch steigern kann. Mit dem erzielten Ergebnis von 10% der Fälle mit Zementaustritten liegt das Ergebnis dieser Studie im unteren Bereich der publizierten Resultate. Das Xvoid Verfahren konnte die Zementaustrittsrate somit nicht wesentlich gegenüber der Datenlage verbessern.

Im Falle der benachbarten Wirbelkörperfrakturen liegt die natürliche Frakturrate bei einer bereits vorhandenen osteoporotischen Fraktur bei 24% (Lindsay et al., 2001). Die Inzidenz

einer erneuten Fraktur bei primärer Osteoporose nach einer Behandlung mit der Ballonkyphoplastie wird hingegen mit lediglich 11,25% angegeben (Harrop et al., 2004). Im Vergleich zu den oben beschriebenen Publikationen, die eine Frakturrate zwischen 7,6 und 17% angeben, liegt die Rate dieser Studie mit 16,6% eher im hinteren Bereich.

4.9 Kritik der eigenen Arbeit/ Schlussfolgerung

Mit der Zielsetzung mit dem Operationsverfahren Xvoid eine Alternative zu den bereits gebräuchlichen Kyphoplastieverfahren zu schaffen und dabei vergleichbare Resultate unter ähnlichen Voraussetzungen zu erzielen, kann die Aussage getroffen werden, dass die Ergebnisse dieser Studie bezüglich der Schmerzreduktion und der Lebensqualität vergleichbar mit denen der zuvor beschriebenen Literatur sind. Vor diesem Gesichtspunkt stellt das Operationsverfahren Xvoid eine gute Alternative zu den bisherigen Kyphoplastieverfahren dar. Ein Vorteil dieses Verfahrens ist, dass es in der Durchführung einfach und schnell ist. Zudem ist es deutlich günstiger als die Nutzung des Ballonkyphoplastiesystems und damit aus ökonomischen Gesichtspunkten von Interesse.

Durch das Fehlen einer Kontrollgruppe sind die Aussagen über die Ergebnisse der vorliegenden Studie eingeschränkt. Eine Angabe und ein Vergleich zum Schmerzverlauf unter einer konservativen Therapie sind nicht möglich.

Komp et al. zeigten 2004 anhand eines Patientenkollektivs von 21 mittels Kyphoplastie und 19 konservativ behandelten Patienten, dass die operierten Patienten nach sechs Wochen und nach sechs Monaten deutlich weniger Schmerzen und einen besseren Oswestry-Score aufwiesen als nach konservativer Behandlung (Komp et al., 2004). Zudem konnten Kasperk et al. kürzlich in einer prospektiven kontrollierten Studie 2008 zeigen, dass sich die Ballonkyphoplastie auch bei chronischen Frakturen (Frakturalter größer als zwölf Monate) hinsichtlich einer Schmerzreduktion als effektiv erweist (Kasperk et al., 2008a). Da aber eine Kontrollgruppe fehlt, ist keine Aussage darüber zu treffen wie das Xvoid Verfahren gegenüber der konservativen Therapie abschneiden würde.

Da die durchgeführte Studie eine prospektive Studie darstellt, ist ein direkter Vergleich mit anderen Kyphoplastieverfahren schwierig. Lediglich ein Vergleich mit den publizierten Ergebnissen der Ballonkyphoplastie ist zulässig. Somit wäre ein Vergleich in einer blind durchgeführten Studie mit randomisierten Patientengruppen unter kontrollierten medizinischen Vorgaben aussagekräftiger gewesen. Des Weiteren würden standardisierte Methoden, die bisher auch in der Literatur nicht festgelegt wurden, eine Evaluation zwischen den unterschiedlichen operativen und konservativen Verfahren erheblich erleichtern.

Somit wäre es bei Folgestudien empfehlenswert, über einen Expertenkonsensus diese Problematik zu berücksichtigen, um eine bessere Vergleichbarkeit von Studien zu erreichen und eine zuverlässigere Zukunftsprognose für Patienten zu gestatten.

5. Zusammenfassung

Die Kyphoplastie stellt ein erfolgreiches Verfahren zur Behandlung von schmerzhaften osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen dar. Dennoch werden des Öfteren Zementaustritte und erneute Wirbelkörperfrakturen bei Nachbarsegmenten beobachtet. Um diese nachteiligen Aspekte zu minimieren ist ein neues Verfahren zur Wirbelkörperaugmentation entwickelt worden. Bei diesem Verfahren wird durch aufspreizbare Nitinolspangen ein Hohlraum im Wirbelkörper gebildet. Die sternförmige Struktur in den Knochen trabekeln soll eine verbesserte Verbindung zwischen dem PMMA-Zement und dem Knochen herstellen, welche zur Reduktion von möglichen Anschlussfrakturen beitragen soll. Zudem soll eine Aufrichtung der Wirbelkörper erreicht werden. Durch Einbringen eines visköseren Zementes in den präformierten Hohlraum soll des Weiteren das Risiko von Zementaustritten minimiert werden.

Prospektiv wurde bei 30 Patienten mit isolierten osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen o.g. Verfahren durchgeführt. Präoperativ wie auch drei Tage, sechs Wochen, zwölf Wochen und zwölf Monate postoperativ erfolgte die klinische und radiologische Untersuchung der Patienten. Mittels Oswestry Score und VAS- Skala wurden die Patienten klinisch ausgewertet. Die radiologischen Bilder wurden auf Zementaustritt, Kyphosewinkel, Anschlussfrakturen und Wirbelkörperhöhe digitalisiert nachuntersucht und mit den präoperativen Bildern verglichen.

Es zeigte sich eine signifikante Schmerzreduktion bei allen Patienten zu jedem gewählten Untersuchungszeitpunkt im Vergleich mit dem präoperativen Status. Eine signifikante Verbesserung der Lebensqualität um etwa 50% in Relation zum Ausgangswert konnte festgestellt werden. Ein Zusammenhang zwischen Frakturalter und Schmerzreduktion oder Lebensqualität fand sich nicht. Die Aufrichtung der Wirbelkörper zeigte sich schlechter als die in der Literatur angegebenen Daten zur Ballonkyphoplastie.

Mit dem verwendeten Verfahren „Xvoid“ wurde nur eine durchschnittliche Kyphosereduktion von ein bis drei Grad ermittelt, wohingegen in der Literatur eine Reduktion von fünf bis zehn Grad bei der Ballonkyphoplastie beschrieben wird. Die Rate der Zementaustritte lag mit zehn Prozent recht hoch, aber dennoch vergleichbar mit vorangegangenen Studien. Die

Rate von neu auftretenden Frakturen mit 16,6% ist höher als die für die Ballonkyphoplastie publizierten Daten.

Zusammenfassend zeigt sich die Kyphoplastie mit dem Xvoid-System als eine klinisch gut nutzbare Alternative zum Ballon in der operativen Behandlung von isolierten osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen. Einschränkend muss jedoch hinzugefügt werden, dass die Ergebnisse darauf hinweisen, dass die Rekonstruktion der Wirbelkörperhöhe, nicht so effektiv ist wie bei der Ballonkyphoplastie.

6. Abbildungsverzeichnis

1.1.2.2 Brust- und Lendenwirbelsäule

Abb. 1: Einteilung der thorakolumbalen Wirbelfrakturen (modifiziert nach Wirth und Zichner, 2004)

Abb. 2: A1-Frakturen: vordere Säule (modifiziert nach Wirth und Zichner, 2004)

Abb. 3: A2-Frakturen: Spaltbildung (modifiziert nach Wirth und Zichner, 2004)

Abb. 4: A3-Frakturen: Berstungsbruch (modifiziert nach Wirth und Zichner, 2004)

Abb. 5: B1-Frakturen: dorsale, ligamentäre Verletzungen (modifiziert nach Wirth und Zichner, 2004)

Abb. 6: B2-Frakturen: dorsale, knöchernde Verletzungen (modifiziert nach Wirth und Zichner, 2004)

Abb. 7: B3-Frakturen: Hyperextensionsverletzung (modifiziert nach Wirth und Zichner, 2004)

Abb. 8: C1-Fraktur: Rotationsverletzung mit Wirbelkompressionsfraktur (modifiziert nach Wirth und Zichner, 2004)

Abb. 9: C2-Fraktur: Rotationsverletzung mit Distraktionskomponente (modifiziert nach Wirth und Zichner, 2004)

Abb. 10: C3-Fraktur: Rotationsverletzung mit lateraler Abscherung (modifiziert nach Wirth und Zichner, 2004)

1.2.5.2 DXA -Knochendichtemessung/ Osteodensitometrie

Abb. 11: Osteodensitometrie mittels Dual Energy X-ray Absorptiometry (DXA) (Därr et al., 2008)

1.2.5.3 Bildgebende Verfahren

Abb. 12: Schematische Darstellung typischer radiologischer Befunde bei Osteoporose: a normale Wirbelkörper, b Keilwirbel (wedge fracture), c Fischwirbel (biconcave fracture), d Plattwirbel (crush fracture) (modifiziert nach Rao et al., 2003)

1.2.6.2.1. Zementaugmentation von frakturierten Wirbelkörpern

Abb. 13: Lagerung (In Anlehnung an Kasperk et al., 2008)

1.2.6.2.2. Vertebroplastie

Abb. 14: Vertebroplastie (Kasperk et al., 2008)

1.2.6.2.3. Kyphoplastie

Abb. 15: Ballonkyphoplastie (Kasperk et al., 2008)

2.1 Das Patientenkollektiv

Abb. 16: Altersverteilung der männlichen und weiblichen Patienten zum Zeitpunkt der Operation

Abb. 17: Altersverteilung in fünf Jahresschritten

Abb. 18: Verteilung des Patientenkollektivs bezüglich des BMI

2.2.1. Präoperative Diagnostik

Abb. 19: Messung von Kyphosewinkel (Ka), sowie frakturierter posteriorer (Hpf), frakturierter mittlerer (Hmf) und frakturierter anteriorer (Haf) Wirbelkörperhöhe

2.2.2. Operation

Abb.20: Schematische Darstellung des Xvoid Verfahrens

Abb 21: Bildwandlerbilder des Xvoid Verfahrens intraoperativ

2.2.3 Nachuntersuchung

Abb.22: Röntgenbilder a) präoperativ b) postoperativ

2.3.1 Visual Analog Skala (VAS)

Abb. 23: VAS Skala

2.4.1 Arithmetisches Mittel

Abb. 24: Formel für die Berechnung des arithmetischen Mittel (modifiziert nach Puhani 2001)

2.4.2 Standardabweichung

Abb. 25: Formel für die Berechnung der Standardabweichung (modifiziert nach Bamberg und Bauer, 2001)

2.4.5 Varianzanalyse

Abb. 26: Formel für die Berechnung der Varianz (modifiziert nach Bomsdorf, 2002 a)

2.4.6 Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson

Abb. 27: Korrelationskoeffizient (modifiziert nach Bomsdorf, 2002 b)

2.4.7 Signifikanzschranken

Abb. 28: Signifikanzschranken

3.2.1. Visual Analog Skala (VAS)

Abb. 29: VAS Score

Abb. 30: Korrelation Frakturalter zu Schmerzintensität zum Zeitpunkt der Ausgangssituation

Abb. 31: Korrelation Frakturalter zu Schmerzintensität sechs Wochen nach Operation

Abb. 32: Korrelation Frakturalter zu Schmerzintensität zwölf Wochen nach Operation

Abb. 33: Korrelation Frakturalter zu Schmerzintensität zwölf Monate nach Operation

Abb. 34: Lebensqualitätsindex des Patientenkollektivs

3.3. Oswestry-Low-Back-Pain-Disability Questionnaire

Abb. 35: Korrelation Frakturalter zu Lebensqualität zum Zeitpunkt der Ausgangssituation

Abb. 36: Korrelation Frakturalter zu Lebensqualität sechs Wochen nach Operation

Abb. 37: Korrelation Frakturalter zu Lebensqualität zwölf Wochen nach Operation

Abb. 38: Korrelation Frakturalter zu Lebensqualität zwölf Monate nach Operation

3.4. Wirbelkörperhöhe präoperativ/postoperativ im Vergleich

Abb. 39: Verteilung der Wirbelkörperfrakturen

Abb. 40: Wirbelkörperhöhe zu unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten

3.5. Kyphosewinkel präoperativ/postoperativ im Vergleich

Abb. 41: Kyphosewinkel zu unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten

3.6. Compliance

Abb. 42: Compliance der Patienten bezogen auf die Befragung zu Ihrer Schmerzsituation (VAS und Oswestry)

Abb. 43: Patientenausscheiden im Verlauf der Studie

Abb. 44: Compliance der Patienten bezogen auf radiologische Nachkontrollen

7. Tabellenverzeichnis

1.1.2.2 Brust- und Lendenwirbelsäule

Tab 1: Stabilitätskriterien der Wirbelkörperfrakturen (White und Panjabi, 1990, modifiziert nach Blauth und Mitarbeiter, 1999)

1.2.5.1 Labordiagnostik

Tab. 2: Labordiagnostik (in Anlehnung an Pfeilschifter, 2006)

Tab. 3: Spezielles Laborprogramm bei Osteoporose

1.2.6.1. Konservative Therapie

Tab. 4: DXA-T-Werte in Abhängigkeit von Lebensalter und Geschlecht, bei deren Unterschreitung eine medikamentöse Langzeittherapie empfohlen wird (Därr et al., 2008)

Tab. 5: Medikamentöse Therapie der postmenopausalen Osteoporose (Därr et al., 2008)

2.1. Das Patientenkollektiv

Tab. 6: Einteilung des BMI (in Anlehnung an WHO 2000 und WHO 2004)

8. Anhang

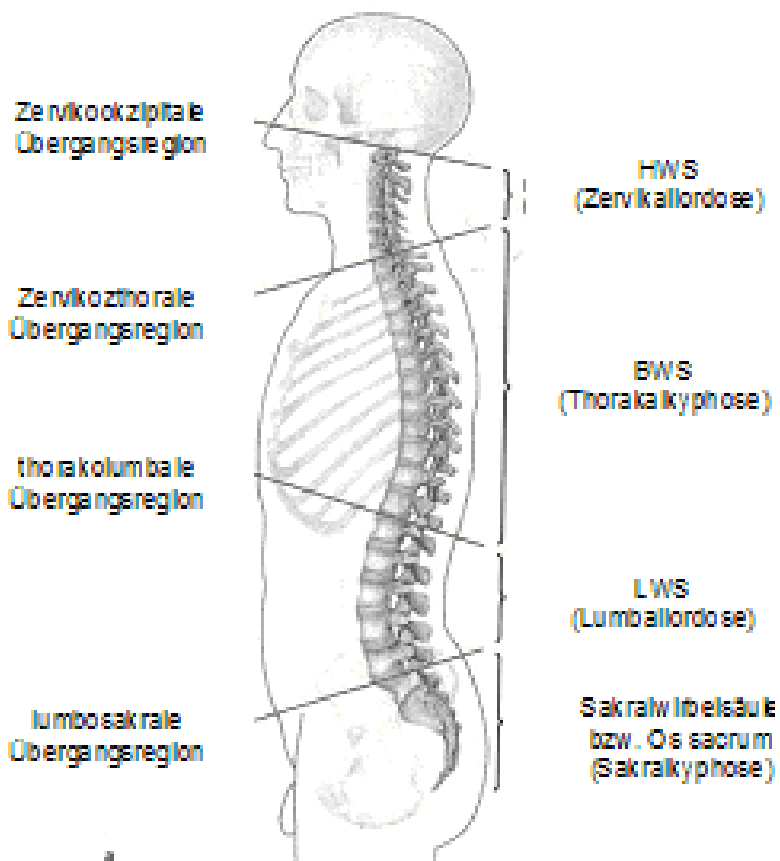
Anhang 1: Oswestry-Low-Back-Pain-Disability Questionnaire (Fairbank et al., 1980)

1.	Schmerzintensität
0	Ich kann den Schmerz den ich habe tolerieren, ohne Schmerzmittel zu nehmen
1	Der Schmerz ist schlimm, aber ich bin in der Lage ihn zu ertragen, ohne Schmerzmittel nehmen zu müssen
2	Wenn ich Schmerzmittel nehme, dann gehen die Schmerzen ganz weg
3	Wenn ich Schmerzmittel nehme, dann gehen die Schmerzen nur mäßig weg
4	Wenn ich Schmerzmittel nehme, dann gehen die Schmerzen nur in sehr geringem Maße weg
5	Wenn ich Schmerzmittel nehme, hat das keinen Effekt auf die Schmerzen und deswegen nehme ich keine Schmerzmittel
2.	Persönliche, selbstständige Pflege (Waschen, Anziehen...)
0	Ich bin selbstständig ohne dabei zusätzliche Schmerzen zu haben
1	Ich bin selbstständig, habe aber dabei Schmerzen
2	Ich habe Schmerzen bei meiner selbstständigen Pflege und bin langsam und vorsichtig
3	Ich benötige Hilfe, aber den Großteil meiner persönlichen Pflege schaffe ich allein
4	Ich benötige jeden Tag Hilfe, beim Großteil meiner persönlichen Pflege
5	Ich kann mich nicht ohne Probleme anziehen und waschen, und bleibe überwiegend im Bett
3.	Heben von Gewichten
0	Ich kann schwere Gewichte ohne Schmerzen anheben
1	Ich kann schwere Gewichte anheben, habe aber dabei Schmerzen
2	Schmerzen halten mich davon ab schwere Gewichte vom Boden aus anzuheben, aber ich kann sie anheben, wenn sie günstig positioniert sind, z. B. auf einem Tisch
3	Schmerzen halten mich ab vom Heben schwerer Gewichte, aber ich kann leichte bis mittelschwere Gewichte anheben, wenn sie günstig positioniert sind
4	Ich kann nur sehr leichte Gewichte anheben
5	Ich kann überhaupt nichts anheben oder tragen
4.	Gehen
0	Schmerzen halten mich nicht davon ab, jede Distanz zu gehen
1	Schmerzen halten mich davon ab, mehr als 1,5 km zu gehen
2	Schmerzen halten mich davon ab, mehr als 1 km zu gehen
3	Schmerzen halten mich davon ab, mehr als 400 Meter zu gehen
4	Ich kann nur mit Gehhilfen (Stock, Krücken) gehen
5	Ich bin die meiste Zeit über im Bett und schleppe mich mit viel Anstrengung zur Toilette

5.	Sitzen
0	Ich kann in jedem Stuhl sitzen so lange ich will
1	Ich kann nur in meinem Lieblingsstuhl so lange sitzen, wie ich will
2	Schmerzen halten mich davon ab, länger als 1 Stunde zu sitzen
3	Schmerzen halten mich davon ab, länger als ½ Stunden zu sitzen
4	Schmerzen halten mich davon ab, länger als 10 min zu sitzen
5	Schmerzen halten mich davon ab, überhaupt zu sitzen
6.	Stehen
0	Ich kann stehen so lange ich will, ohne Schmerzen zu haben
1	Ich kann stehen so lange ich will, habe aber dabei Schmerzen
2	Schmerzen halten mich davon ab, länger als 1 Stunde zu stehen
3	Schmerzen halten mich davon ab, länger als ½ Stunden zu stehen
4	Schmerzen halten mich davon ab, länger als 10 min zu stehen
5	Schmerzen halten mich davon ab, überhaupt zu stehen
7.	Schlafen
0	Schmerzen halten mich nicht davon ab, gut zu schlafen
1	Ich kann nur gut schlafen, wenn ich Tabletten nehme
2	Sogar wenn ich Tabletten nehme, schlafe ich weniger als 6 Stunden
3	Sogar wenn ich Tabletten nehme, schlafe ich weniger als 4 Stunden
4	Sogar wenn ich Tabletten nehme, schlafe ich weniger als 2 Stunden
5	Schmerzen halten mich davon ab, überhaupt zu schlafen
8.	Sexualleben , falls angewendet
0	Mein Sexualleben ist normal und verursacht keine zusätzlichen Schmerzen
1	Mein Sexualleben ist normal, aber ich habe gelegentliche Schmerzen
2	Mein Sexualleben ist fast normal, aber es ist sehr schmerzhaft
3	Mein Sexualleben ist erheblich eingeschränkt wegen Schmerzen
4	Mein Sexualleben ist fast nicht vorhanden wegen Schmerzen
5	Schmerzen verhindern jegliches Sexualleben
9.	Gesellschaftliches Leben
0	Mein gesellschaftliches Leben ist normal und ich habe keine Schmerzen
1	Mein gesellschaftliches Leben ist normal, aber es verschlimmert meine Schmerzen
2	Schmerzen beeinflussen mein gesellschaftliches Leben nicht bedeutend, außer das sie mich in meinen körperlich anstrengenden Hobbies, z. B. Tanzen, einschränken

3	Schmerzen schränken mein gesellschaftliches Leben ein und ich gehe nicht mehr so oft aus wie früher
4	Schmerzen haben mein gesellschaftliches Leben auf meine Wohnung beschränkt
5	Ich habe kein gesellschaftliches Leben, wegen der Schmerzen
10.	Reisen
0	Ich kann überall hin reisen, ohne zusätzliche Schmerzen zu haben
1	Ich kann überall hin reisen, habe aber dabei Schmerzen
2	Die Schmerzen sind schlimm, aber ich schaffe es, Ausflüge von mehr als 2 Stunden zu machen
3	Schmerzen beschränken mich auf Ausflüge von weniger als 1 Stunde
4	Schmerzen beschränken mich auf kurze unumgängliche Ausflüge von weniger als 30 min
5	Schmerzen halten mich davon ab zu reisen, außer zum Arzt oder ins Krankenhaus

Anhang 2: Die Wirbelsäule (Schunke et al., 2005)

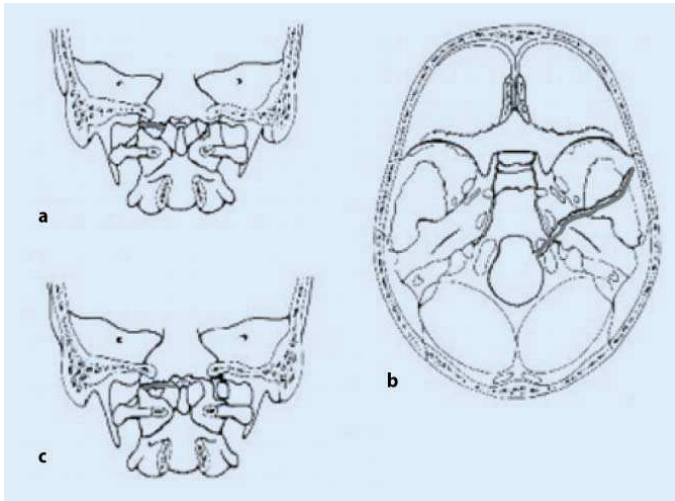


Anhang 3: Schematische Darstellung der okzipitalen Frakturtypen (Anderson und Montesano, 1988)

Typ I: Kondylenkompressionsfrakturen,

Typ II: gemeinsam mit Schädelbasisfrakturen auftretende Okzipitalfrakturen,

Typ III: Abrissfrakturen der Ligg. Alaria



Anhang 4: Zusammenfassung „okzipitokondyläre Frakturen“ (OKF)

(in Anlehnung an Kayser et al., 2006)

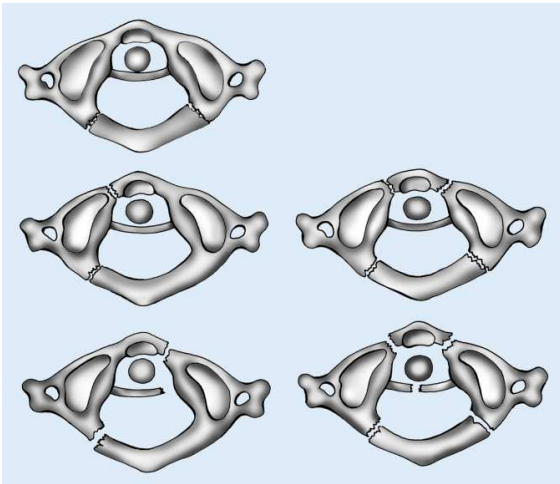
Typ nach Jeanneret	Klinik	Diagnostik	Therapie	
1	Nackenschmerzen, Ausfall der	Röntgen der Gesamt-HWS in 2 Ebenen,	Weiche Zervikalstütze für die Dauer	
2	kaudalen	Dünnschicht-CT mit	der Beschwerden	
3	Hirnnerven,	zweidimensionaler	• Ohne AOD _a	
4	prävertebrales Hämatom	Rekonstruktion, optional MRT C0–C2 zur Darstellung der ligamentären Strukturen	• Weiche Orthese für 6 Wochen	• Mit AOD _a • Dorsale Spondylodese C0–C2

^a Atlantookzipitale Dislokation.

Anhang 5: Zusammenfassung „atlantookzipitale Dislokationen“ (AOD) (in Anlehnung an Kayser et al., 2006)

Typ nach Harris	Klinik ^a	Diagnostik	Therapie	
			Notfallmäßig	Geplant
1	Hirnstammsymptome	Seitliches Röntgenbild	Geschlossene	Dorsale
2	(Schnappatmung, irreguläre	der HWS,	Reposition	Spondylodese
3	Herzaktionen), Läsionen der kaudalen Hirnnerven, asymmetrische Lähmungen	Funktionsuntersuchung unter Bildwandler, multiplanares Rekonstruktions-CT, ggf. MRT	(ohne Extension) passagere Ruhigstellung im Halo	mit autologem Beckenkammspan C0–C1/C2(C3)

^aBei Überleben.



Anhang 6: Atlasbogenfrakturen (In Anlehnung an Kayser et al., 2006)

Oben: Isolierte Atlasbogenfraktur (Typ Gehweiler II).

Mitte u. unten: Möglichkeiten der kombinierten Atlasbogenfrakturen (Typ Gehweiler III) – ohne (Mitte) und mit (unten) Ruptur des Lig. Transversum



Anhang 7: Atlasfrakturen Typ Gehweiler IV (*links*) und V (*rechts*) (In Anlehnung an Kayser et al., 2006)

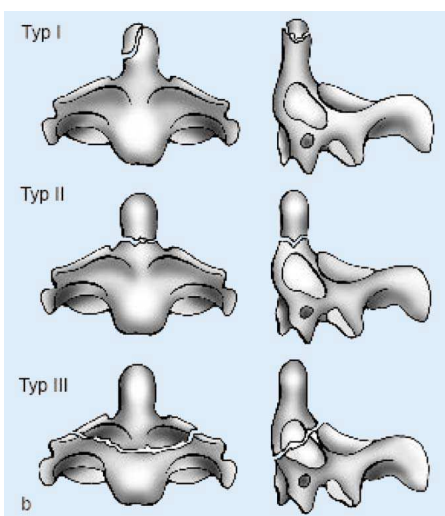
Anhang 7: Zusammenfassung „Atlasbogenfrakturen“ (In Anlehnung an Kayser et al., 2006)

Typ nach Gehweiler	Klinik	Diagnostik	Therapie
1	Nackenschmerzen,	Röntgenbild der	Semirigide oder
2	Spasmus der	HWS in 2 Ebenen,	harte Orthese für
3	Nackenmuskulatur, evtl. Ausfall kaudaler Hirnnerven (Sprache, Geschmack) prävertebrales Hämatom	Sandberg-view, multiplanares Rekonstruktions- CT, Funktionsuntersuchung unter Bildwand- ler, evtl. MRT	6–12 Wochen -Nicht disloziert: semirigide oder harte Orthese für 6–12 Wochen geschlossene -Disloziert: Reposition, dorsale C1/2- Verschraubung nach Magerl ohne Fusion oder „direct repair“
4 und 5			Weiche Orthese für 6–12 Wochen

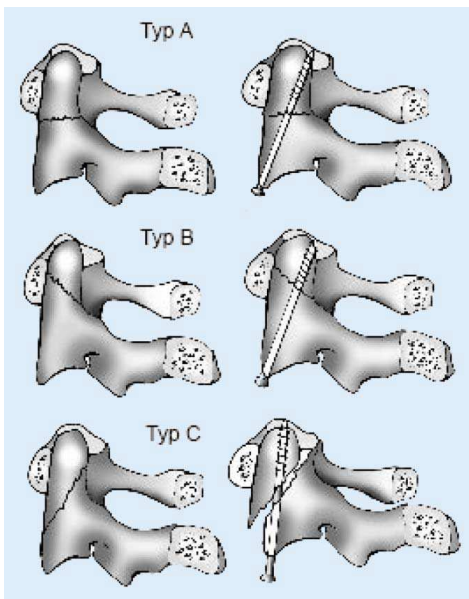
Anhang 8: Zusammenfassung der AAD “ (In Anlehnung an Kayser et al., 2006)

Klassifikation	Klinik	Diagnostik	Therapie
• Translatorische Dislokation • Kraniale Dislokation	Nackenschmerzen, Spasmus der Nackenmuskulatur, neurologische Defizite	Röntgenbild der HWS in 2 Ebenen, laterale Funktionsuntersuchung unter Bildwandler, Sandbergaufnahme, CT, evtl. MRT	geschlossene Reposition, harte Orthese 6–8 Wochen – mit Ruptur des Lig. Transversum atlantis: geschlossene Reposition, transartikuläre Verschraubung C1/C2 nach Magerl mit dorsaler monosegmentaler Spondylodese mit autologem Beckenkammspan

Rotatorische Dislokation	Unspezifische Nackenschmerzen,	Röntgen bild der HWS in 2 Ebenen,	Ohne Ruptur des Lig. transversum
Typ 1	Kombination mit Schiefhals (sog. „Cock-Robin-Position“, schmerzhafte Bewegungseinschränkung	Sandbergaufnahme CT mit dreidimensionaler Rekonstruktion, funktionelles CT	atlantis:geschlossene Reposition, Halo-Ruhigstellung 6–8 Wochen, bei per-sistierender Instabilität: transartikuläre Verschraubung C1/C2 nach Magerl mit dorsaler monosegmentaler Spondylodese mit autologem Beckenkammspan
Typ 2			• Mit Ruptur des Lig transversum atlantis:
Typ 3			geschlossene Re-position, transartikuläre
Typ 4			Verschraubung C1/C2 nach Magerl mit dorsaler monosegmentaler Spondylodese mit autologem Beckenkammspan



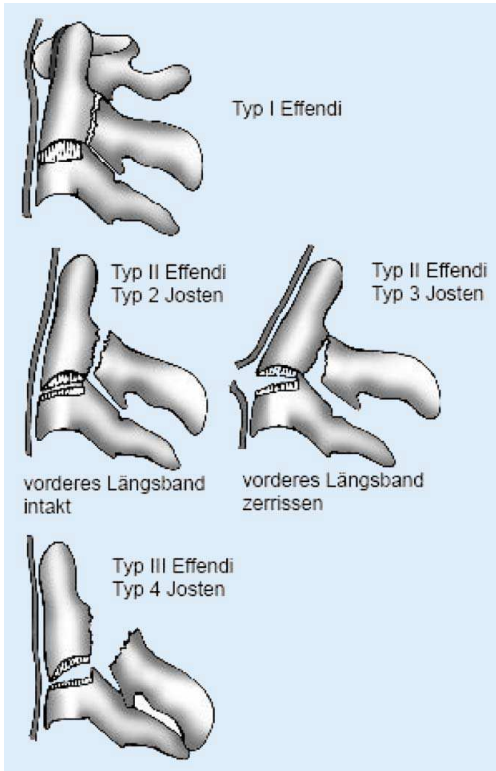
Anhang 9: Schematische Darstellung der Densfrakturen Koronare und laterale Ansicht der einzelnen Frakturen Typ I–III (In Anlehnung an Kayser et al., 2006)



Anhang 10: Schematische Darstellung des Frakturtyps II in der Subklassifikation von Eysel und Rosen . Man beachte die Möglichkeit des ungünstigen Verlaufs der ventralen Zugschraubenosteosynthese bei Typ C (In Anlehnung an Kayser et al., 2006)

Anhang 11: Zusammenfassung „Axisfrakturen“ (In Anlehnung an Kayser et al., 2006)

Typ nach Anderson u. D'Alonzo	Klinik	Diagnostik	Therapie
I	Unspezifische Nackenbeschwerden, Bewegungsschmerz,	Seitliches Röntgenbild der HWS, Sandbergaufnahme, laterale Funktionsaufnahme	• Je nach Stabilität im Segment C0/C1 (s. AOD) • Geschlossene Reposition, ventrale Zugschraubenosteosynthese
II • Eysel-Rosen A und B	Gefühl der „Haltungslosigkeit“ des Kopfes	unter BV, CT mit multiplanarer Rekonstruktion	• Geschlossene Reposition, dorsale Spondylodese C1/C2
Eysel-Rosen C			• Stabil: harte Orthese für 8 Wochen
III			• Instabil: geschlossene Reposition, dorsale Spondylodese C1/C2
Denspseudarthrose			• Geschlossene Reposition, dorsale Spondylodese C1/C2 mit transartikulärer Verschraubung

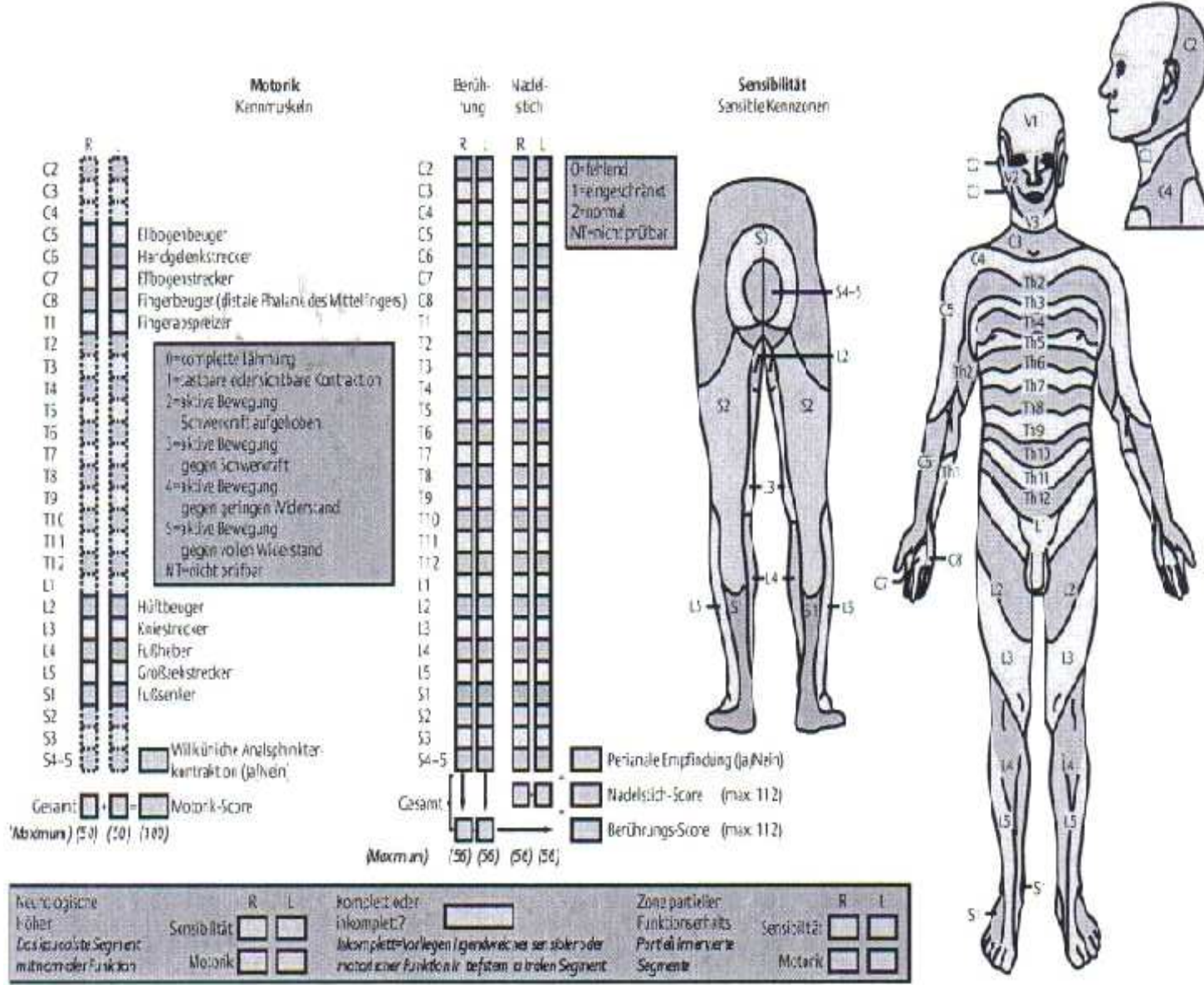


Anhang 12: Schematische Darstellung der Frakturklassifikation (Effendi et al., 1981 in der Erweiterung nach Josten et al., 1999)

Anhang 13: Zusammenfassung „Spondylolisthesis C2“ (In Anlehnung an Kayser et al., 2006)

Typ nach Effendi	Klinik	Diagnostik	Therapie
I	Unspezifische Nackenbeschwerden,	Seitliches Röntgenbild der HWS, Sandbergaufnahme, laterale Funktionsaufnahmen, ggf. Wiederholung unter BV,CT mit multiplanarer Rekonstruktion, MRT zur Beurteilung der Bandscheibe C2/3	<ul style="list-style-type: none"> • Weiche Orthese für 6–8 Wochen • Geschlossene Reposition, Halo-Fixateur für 8–12 Wochen
II • Josten II • Josten III	Bewegungsschmerz, Gefühl der „Haltungslosigkeit“ des Kopfes		<ul style="list-style-type: none"> • Wie Josten II, bei unbefriedigendem Resultat: ventrale Fusion C2/C3 • Wenn geschlossene Reposition möglich, ventrale Spondylodese C2/C3, ansonsten offene dorsale Reposition und dorsale Spondylodese C2/C3

Anhang 14: Standardklassifikation bei Querschnittslähmung (Frankel et al., 1969)



Anhang 15: Übersicht über die Differentialindikationen bei WS-Verletzungen (In Anlehnung an Gonschek und Bühren, 2006)

Frakturtyp	Regelversorgung	Alternative	Kriterien
A1.1	Konservativ		
A1.2	Konservativ	Isoliert ventrale Rekonstruktion und Stabilisierung, monosegmental	Junger Patient, Kyphose kleiner 20°
		Vertebroplastie/Kyphoplastie	Alter Patient, Schmerzen
A1.3	Vertebroplastie/Kyphoplastie		Alter Patient, Schmerzen
A2.1	Wie A1.2		
A2.2	Wie A1.2		
A2.3	Dorsale Reposition und Stabilisierung, bisegmental ventrale Rekonstruktion und Stabilisierung, bisegmental		Kneifzangenbruch, i.d.R beide Bandscheiben destruiert
A3.1	Dorsale Reposition und Stabilisierung, bisegmental ventrale Rekonstruktion und Stabilisierung, monosegmental	Dorsale Reposition und Stabilisierung, bisegmental ventrale Rekonstruktion und Stabilisierung, bisegmental	Alter über 50 Jahre, Osteopenie, Osteoporose
		Isoliert ventrale Rekonstruktion und Stabilisierung, monosegmental	Junger Patient, geringer Knochendefekt
A3.2	Dorsale Reposition und Stabilisierung, bisegmental ventrale Rekonstruktion und Stabilisierung, bisegmental	Dorsale Reposition und Stabilisierung, bisegmental ventrale Rekonstruktion und Stabilisierung, monosegmental	Junger Patient, geringe Spaltkomponente
A3.3	Dorsale Reposition und Stabilisierung, bisegmental ventrale Rekonstruktion und Stabilisierung, bisegmental		
B	Dorsale Reposition und Stabilisierung	Additiv ventrale Rekonstruktion und Stabilisierung	Bei vorliegender A- Komponente
C	Dorsale Reposition und Stabilisierung, Querstrebe Ventrale Rekonstruktion und Stabilisierung	Rein dorsale Instrumentierung	Bei fehlender A- Komponente
		Dorsal langstreckige Instrumentierung	

Anhang 16: Die ASA (American Society of Anesthesiologists)- Klassifikation beschreibt den physischen Zustand des zu operierenden Patienten und korreliert mit dem Operationrisiko.

ASA1	Normaler, gesunder Patient
ASA2	Patient mit leichter Allgemeinerkrankung
ASA3	Patient mit schwerer Allgemeinerkrankung
ASA4	Patient mit schwerer Allgemeinerkrankung, die eine ständige Lebensbedrohung ist.
ASA5	moribunder Patient, der ohne Operation voraussichtlich nicht überleben wird
ASA6	hirntoter Patient, dessen Organe zur Organspende entnommen werden

9. Literaturverzeichnis

Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. Report of a WHO Study Group. World Health Organ Tech Rep Ser 1994; 843:1-129

NIH Consensus Development Panel on Osteoporosis Prevention, Diagnosis, and Therapy. March 7-29, 2000: highlights of the conference. South Med J 2001; 94: 569-573

Incidence of vertebral fracture in europe: results from the European Prospective Osteoporosis Study (EPOS). J Bone Miner Res 2002; 17: 716-724

Adachi JD, Ioannidis G, Olszynski WP, Brown JP, Hanley DA, Sebaldt RJ, et al. The impact of incident vertebral and non-vertebral fractures on health related quality of life in postmenopausal women. BMC Musculoskelet Disord 2002; 22;3:11

Anderson LD, D'Alonzo RT. Fractures of the odontoid process of the axis. J Bone Joint Surg Am 1974; 56: 1663-1674

Anderson PA, Montesano PX. Morphology and treatment of occipital condyle fractures. Spine 1988; 13: 731-736

Appel NB, Gilula LA. Percutaneous vertebroplasty in patients with spinal canal compromise. AJR Am J Roentgenol 2004; 182: 947-951

Bamberg G, Bauer F. Statistik. Oldenbourg 2001; 11. Auflage, München

Barr JD, Barr MS, Lemley TJ, McCann RM. Percutaneous vertebroplasty for pain relief and spinal stabilization. Spine 2000; 25: 923-928

Bartl R, Bartl C, Mutschler W. Diagnosis and therapy of osteoporosis. Strategy for effective treatment after fragility fractures. Unfallchirurg 2003; 106: 526-541

Belkoff SM, Mathis JM, Jasper LE, Deramond H. An ex vivo biomechanical evaluation of a hydroxyapatite cement for use with vertebroplasty. Spine 2001; 26: 1542-1546

Bellach B, Ellert U, Radoschewski M. Epidemiologie des Schmerzes – Ergebnisse des Bundes-Gesundheitssurveys 1998. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 2000; 43: 424–443

Berlemann U, Ferguson SJ, Nolte LP, Heini. Adjacent vertebral failure after vertebroplasty. A biomechanical investigation. J Bone Joint Surg Br 2002; 84: 748-752

Birkenmaier, C., The spine-when is kyphoplasty indicated?. Z Orthop Unfall 2008; 146: 421-424

Blatter T, Weckbach. A Kalziumphosphat vs. Polymethylmetacrylat – Erste Ergebnisse einer prospektiven randomisierten, klinischen Vergleichsstudie zur perkutanen Ballonkyphoplastie. *Trauma Berufskrankh* 2004; 273–278

Blauth M, Lange UF, Knop C, Bastian L. Spinal fractures in the elderly and their treatment. *Orthopäde* 2000; 29: 302-317

Bomdsdorf E. Eindimensionale Häufigkeitsverteilungen. In: Bomdsdorf und Kloock (Hrsg.), *Deskriptive Statistik*. Lohmar, Köln: JOSEF EUL VERLAG 2002a: 56-60

Bomdsdorf, E. Zweidimensionale Häufigkeitsverteilungen. In: Bomdsdorf und Kloock (Hrsg.), *Deskriptive Statistik*. Lohmar, Köln: JOSEF EUL VERLAG 2002b: 135-136

Boonen S, Wardlaw D, Bastian L, van Meirhaege J. A randomized trial of balloon kyphoplasty and nonsurgical care for patients with acute vertebral compression fractures one year results. *Ann Rheum.* 2008; 67: 56

Bühren V. Injuries of the thoracic and lumbar spine. *Chirurg* 2001; 72: 865-878

Burger H, Van Daele PL, Grashuis K, Hofman A, Grobbee DE, Schutte HE, et al. Vertebral deformities and functional impairment in men and women. *J Bone Miner Res* 1997; 12: 152-157

Burval DJ, McLain RF, Milks R, Inceoglu S. Primary pedicle screw augmentation in osteoporotic lumbar vertebrae: biomechanical analysis of pedicle fixation strength. *Spine* 2007; 32: 1077-1083

Center JR, Nguyen TV, Schneider D, Sambrook PN, Eisman JA. Mortality after all major types of osteoporotic fracture in men and women: an observational study. *Lancet* 1999; 353: 878-882

Cooper C, Atkinson EJ, Jacobsen SJ, O'Fallon WM, Melton LJ, 3rd. Population-based study of survival after osteoporotic fractures. *Am J Epidemiol* 1993; 137: 1001-1005

Därr R, Ziller V, Hadji P, Hofbauer LC. Clinical presentation and diagnosis of osteoporosis and osteomalacia. *Internist (Berl)* 2008; 49: 1170-1177

De Negri P, Tirri T, Paternoster G, Modano P. Treatment of painful osteoporotic or traumatic vertebral compression fractures by percutaneous vertebral augmentation procedures: a nonrandomized comparison between vertebroplasty and kyphoplasty. *Clin J Pain.* 2007; 23: 425-430

Denis F. The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. *Spine* 1983; 8: 817-831

- Ebeling PR. Clinical practice. Osteoporosis in men. *N Engl J Med* 2008; 358: 1474-1482
- Effendi B, Roy D, Cornish B, Dussault RG, Laurin CA. Fractures of the ring of the axis. A classification based on the analysis of 131 cases. *J Bone Joint Surg Br* 1981; 63: 319-327
- Eysel P, Roosen K. Ventral or dorsal spondylodesis in dens basal fracture--a new classification for choice of surgical approach. *Zentralbl Neurochir* 1993; 54: 159-165
- Fairbank JC, Couper J, Davies JB, O'Brien JP. The Oswestry low back pain disability questionnaire. *Physiotherapy* 1980; 66: 271-273
- Farooq N, Park JC, Pollintine P, Annesley-Williams DJ, Dolan P. Can vertebroplasty restore normal load-bearing to fractured vertebrae? *Spine* 2005; 30: 1723-1730
- Finnern HW, Sykes DP. The hospital cost of vertebral fractures in the EU: Estimates using national datasets. *Osteoporosis Int* 2003; 14: 429-436
- Fogelman I, Blake GM. Bone densitometry: an update. *Lancet* 2005; 366: 2068-2070
- Franck H, Boszczyk BM, Bierschneider M, Jaksche H. Interdisciplinary approach to balloon kyphoplasty in the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures. *Eur Spine* 2003; 12: 163-167
- Frankel HL, Hancock DO, Hyslop G, Melzak J, Michaelis LS, Ungar GH, et al. The value of postural reduction in the initial management of closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia. I. *Paraplegia* 1969; 7: 179-192
- Fürderer S, Anders M, Schwindling B, Salick M, Duber C, Wenda K, et al. Vertebral body stenting. A method for repositioning and augmenting vertebral compression fractures. *Orthopädie* 2002; 31: 356-361
- Galibert P, Deramond H, Rosat P, Le Gars D. Preliminary note on the treatment of vertebral angioma by percutaneous acrylic vertebroplasty. *Neurochirurgie* 1987; 33: 166-168
- Gonschorek O. und Bühren V. Verletzungen der thorakolumbalen Wirbelsäule. *Orthopädie und Unfallchirurgie* up2date 1, 2006: 195-222
- Gold DT. The clinical impact of vertebral fractures: quality of life in women with osteoporosis. *Bone* 1996; 18: 185-189
- Grafe IA, Baier M, Nöldge G, Weiss C, Da Fonseca K, Hillmeier J, et al. Calcium-phosphate and polymethylmethacrylate cement in long-term outcome after kyphoplasty of painful osteoporotic vertebral fractures. *Spine* 2008; 33: 1284-1290

Grohs JG, Matzner M, Trieb K, Krepler P. Minimal invasive stabilization of osteoporotic vertebral fractures: a prospective nonrandomized comparison of vertebroplasty and balloon kyphoplasty. *J Spinal Disord Tech.* 2005; 18: 238-242

Hadji P, Body JJ, Aapro MS, Brufsky A, Coleman RE, Guise T, et al. Practical guidance for the management of aromatase inhibitor-associated bone loss. *Ann Oncol* 2008; 19: 1407-1416

Harris JH, Jr., Carson GC, Wagner LK, Kerr N. Radiologic diagnosis of traumatic occipitovertebral dissociation: 2. Comparison of three methods of detecting occipitovertebral relationships on lateral radiographs of supine subjects. *AJR Am J Roentgenol* 1994; 162: 887-892

Harrop JS, Prpa B, Reinhardt MK, Lieberman I. Primary and secondary osteoporosis' incidence of subsequent vertebral compression fractures after kyphoplasty. *Spine* 2004; 29: 2120-2125

Haussler B, Gothe H, Gol D, Glaeske G, Pientka L, Felsenberg D. Epidemiology, treatment and costs of osteoporosis in Germany-the Bone EVA Study. *Osteoporos Int* 2007; 18: 77-84

Heaney RP. The natural history of vertebral osteoporosis. Is low bone mass an epiphenomenon? *Bone* 1992; 13: 23-26

Heini PF. The current treatment-a survey of osteoporotic fracture treatment. Osteoporotic spine fractures: the spine surgeon's perspective. *Osteoporos Int* 2005; 16: 85-92

Heini PF, Berlemann U, Kaufmann M, Lippuner K, Fankhauser C, van Landuyt P. Augmentation of mechanical properties in osteoporotic vertebral bones-a biomechanical investigation of vertebroplasty efficacy with different bone cements. *Eur Spine* 2001; 10: 164-171

Heini PF, Orlor R. Vertebroplasty in severe osteoporosis. Technique and experience with multisegment injection. *Orthopäde* 2004; 33: 22-30

Heyde CE, Fekete Z, Robinson Y, Tschoke SK, Kayser R. Treatment options for problematic thoracic and lumbar osteoporotic fractures. *Orthopäde* 2008; 37: 307-320

Hillmeier J, Meeder PJ, Nöldge G, Kock HJ, Da Fonseca K, Kasperk HC. Balloon kyphoplasty of vertebral compression fractures with a new calcium phosphate cement. *Orthopäde* 2004; 33: 31-39

Hiwatashi A, Sidhu R, Lee RK, deGuzman RR, Piekut DT, Westesson PL. Kyphoplasty versus vertebroplasty to increase vertebral body height: a cadaveric study. *Radiology* 2005; 237: 1115-1119

Jakob F. Metabolic bone diseases. *Internist* 2007; 48: 1101-1117

Josten C. Traumatic spondylolisthesis of the axis. *Orthopäde* 1999; 28: 394-400

Josten C, Katscher S, Gonschorek O. Treatment concepts for fractures of the thoracolumbar junction and lumbar spine. *Orthopäde* 2005; 34: 1021-1032

Kanis JA, Gluer CC. An update on the diagnosis and assessment of osteoporosis with densitometry. Committee of Scientific Advisors, International Osteoporosis Foundation. *Osteoporos Int* 2000; 11: 192-202

Kann PH, Pfutzner A, Dellling G, Schulz G, Meyer S. Transiliac bone biopsy in osteoporosis: frequency, indications, consequences and complications. An evaluation of 99 consecutive cases over a period of 14 years. *Clin Rheumatol* 2006; 25: 30-34

Kasperk C, Nöldge G, Grafe I, Meeder P, Huber F, Nawroth P. Indications and results of kypho- and vertebroplasty. *Internist (Berl)* 2008a; 49: 1206-1218

Kasperk C, Nöldge G, Meeder P, Nawroth P, Huber FX. Kyphoplasty : method for minimally invasive treatment of painful vertebral fractures. *Chirurg* 2008b; 79: 944-955

Kates SL, Kates OS, Mendelson DA. Advances in the medical management of osteoporosis. *Injury* 2007; 38: 17-23

Katscher S, Verheyden P, Gonschorek O, Glasmacher S, Josten C. Thoracolumbar spine fractures after conservative and surgical treatment. Dependence of correction loss on fracture level. *Unfallchirurg* 2003; 106: 20-27

Kayser R, Weber U, Heyde CE. Injuries to the craniocervical junction. *Orthopäde* 2006; 35: 244-269

Khanna AJ, Reinhardt MK, Togawa D, Lieberman IH. Functional outcomes of kyphoplasty for the treatment of osteoporotic and osteolytic vertebral compression fractures. 2006; 17: 817-826

Kim DH, Vaccaro AR. Osteoporotic compression fractures of the spine; current options and considerations for treatment. *Spine* 2006; 6: 479-487

Klotzbuecher CM, Ross PD, Landsman PB, Abbott TA, 3rd, Berger M. Patients with prior fractures have an increased risk of future fractures: a summary of the literature and statistical synthesis. *J Bone Miner Res* 2000; 15: 721-739

Komp M, Godolias G, Ruetten S. Minimal-invasive Therapie der funktionell instabilen osteoporotischen Wirbelkörperfraktur mittels Kyphoplastie: Prospektive Vergleichsstudie von 19 operierten und 17 konservativ behandelten Patienten. *Journal für Mineralstoffwechsel* 2004; 11: 13-15

Lane NE. Epidemiology, etiology, and diagnosis of osteoporosis. *Am J Obstet Gynecol* 2006; 194: 3-11

Lange U, Bastian L, Muller CW, Busche M, Krettek C. How to prevent overlooking cervical spine injuries: pitfalls in spinal diagnostics. *Arch Orthop Trauma Surg* 2007; 127: 953-958

Ledlie JT, Renfro M. Balloon kyphoplasty: one-year outcomes in vertebral body height restoration, chronic pain, and activity levels. *Tyler Neurosurgical Associates* 2003; 98: 36-42

Libicher M, Hillmeier J, Liegibel U, Sommer U, Pyerin W, Vetter M, et al. Osseous integration of calcium phosphate in osteoporotic vertebral fractures after kyphoplasty: initial results from a clinical and experimental pilot study. *Osteoporos Int* 2006; 17: 1208-1215

Lieberman IH, Dudeney S, Reinhardt MK, Bell G. Initial outcome and efficacy of „Kyphoplasty“ in the treatment of painful osteoporotic vertebral compression fractures. *Spine* 2001; 26: 1631-1638

Liebschner MA, Rosenberg WS, Keaveny TM. Effects of bone cement volume and distribution on vertebral stiffness after vertebroplasty. *Spine* 2001; 26: 1547-1554

Lindsay R, Silverman SL, Cooper C, Hanley DA, Barton I, Broy SB, et al. Risk of new vertebral fracture in the year following a fracture. *JAMA* 2001; 285: 320-323

Luginbuhl M. Percutaneous vertebroplasty, kyphoplasty and lordoplasty: implications for the anaesthesiologist. *Anesthesia outside the operating room* 2008; 21: 504-513

Mackey DC, Lui LY, Cawthon PM, Bauer DC, Nevitt MC, Cauley JA, et al. High-trauma fractures and low bone mineral density in older women and men. *JAMA* 2007; 298: 2381-2388

Madert J, Eggers C. Fallstricke in der Wirbelsäulendiagnostik. *Trauma und Berufskrankheit*. 2009; 11: 78-84

Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *Eur Spine* 1994; 3: 184-201

Maier, B., Marzi, I. Versorgungsstrategien bei Verletzungen der thorako-lumbalen Wirbelsäule. *Hess. Ärzteblatt* 2008: 439-448

Majd ME, Farley S, Holt RT. Preliminary outcomes and efficacy of the first 360 consecutive kyphoplasties for the treatment of painful osteoporotic vertebral compression fractures. *Spine* 2005; 5: 244-255

Mc Kiernan F, Jensen R, Faciszewski T. The dynamic mobility of vertebral compression fractures. *J Bone Miner Res* 2003; 18: 24-29

Mellish RW, Garrahan NJ, Compston JE. Age-related changes in trabecular width and spacing in human iliac crest biopsies. *Bone Miner* 1989; 6: 331-338

Menz F, Lalouschek J, Reisingl M, Sator M, Wetschanow. Informationsblatt zum Forschungsbericht Schmerz und Krankheitsdarstellung. Universität Wien- Institut für Sprachwissenschaft 2009:
http://www.forschungs-zone.net/PDF/Informationsblatt_Schmerzprojekt_lang.pdf
Zugriffsdatum: 24.08.2009

Mirovsky Y, Anekstein Y, Shalmon E, Blankstein A, Peer A. Intradiscal cement leak following percutaneous vertebroplasty. *Spine* 2006; 31: 1120-1124

Müller CW, Hufner T, Gosling T, Krettek C. Traumatology of the spine. *Chirurg* 2008; 918: 20-26

Nakano M, Hirano N, Matsuura K, Watanabe H, Kitagawa H, Ishihara H, et al. Percutaneous transpedicular vertebroplasty with calcium phosphate cement in the treatment of osteoporotic vertebral compression and burst fractures. *J Neurosurg* 2002; 97: 287-293

Nöldge G, DaFonseca K, Grafe I, Libicher M, Hillmeier J, Meeder PJ, et al. Balloon kyphoplasty in the treatment of back pain. *Radiologe* 2006; Jun;46: 506-512

Ooms EM, Wolke JG, van der Waerden JP, Jansen JA. Trabecular bone response to injectable calcium phosphate (Ca-P) cement. *J Biomed Mater Res* 2002; 61: 9-18

Orler R, Frauchiger LH, Lange U, Heini. Lordoplasty: report on early results with a new technique for the treatment of vertebral compression fractures to restore the lordosis. *Eur Spine* 2006; 15: 1769-1775

Parfitt AM. Implications of architecture for the pathogenesis and prevention of vertebral fracture. *Bone* 1992; 13: 41-47

Pend K, Wang B, Hu Y, et al. Percutaneous kyphoplasty in hyperextension position for treatment of osteoporotic vertebral fracture *Medical Journal of West China* 2009

Pfeilschifter J. DVO-guideline for prevention, diagnosis, and therapy of osteoporosis for women after menopause, for men after age 60 executive summary guidelines. *Exp Clin Endocrinol Diabetes* 2006; 114: 611-622

Pfeilschifter J. Guidelines for the management of osteoporosis. *Internist* 2008; 49: 1178, 1180-1182, 1184-1185

Pflugmacher R, Kandziora F, Schroder R et al. Vertebroplasty and kyphoplasty in osteoporotic fractures of vertebral bodies – a prospective 1-year follow-up analysis. *Rofo* 2005; 177: 1670–1676

Phillips FM, Ho E, Campbell-Hupp M, McNally T, Todd WF, Gupta P. Early radiographic and clinical results of balloon kyphoplasty for the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures. *Spine* 2003; 28: 2260-2267

Phillips FM, Todd WF, Lieberman I, Campbell-Hupp M.; An in vivo comparison of the potential for extravertebral cement. *Spine* 2002; 27:2173-2178

Pilshofer B. PH-Ludwigsburg.de Wie erstelle ich einen Fragebogen? Ein Leitfaden für die Praxis 2. Auflage 2001

Pietschmann P, Peterlik M. Pathophysiology and therapy of osteoporosis. *Radiologe* 1999; 39: 228-234

Pluijm SM, Tromp AM, Smit JH, Deeg DJ, Lips P. Consequences of vertebral deformities in older men and women. *J Bone Miner Res* 2000; 15: 1564-1572

Polikeit A, Nolte LP, Ferguson SJ. The effect of cement augmentation on the load transfer in an osteoporotic functional spinal unit: finite-element analysis. *Spine* 2003; 28: 991-996

Puhani J. Statistik-Einführung mit praktischen Beispielen. Lexika 2001; 9. Aufl., Würzburg

Raisz LG. Clinical practice. Screening for osteoporosis. *N Engl J Med* 2005a; 353: 164-171

Raisz LG. Pathogenesis of osteoporosis: concepts, conflicts, and prospects. *J Clin Invest* 2005b; 115: 3318-3325

- Rao RD, Singrakhia MD. Painful osteoporotic vertebral fracture. Pathogenesis, evaluation, and roles of vertebroplasty and kyphoplasty in its management. *J Bone Joint Surg Am* 2003; 85: 2010-2022
- Reinhold M, Blauth M, Rosiek R, Knop C. Lower cervical spine trauma: classification and operative treatment. *Unfallchirurg* 2006; 109: 471-480
- Rhyne A, 3rd, Banit D, Laxer E, Odum S, Nussman D. Kyphoplasty: report of eighty-two thoracolumbar osteoporotic vertebral fractures. *J Orthop Trauma* 2004; 18: 294-299
- Rieger M, Mallouhi A, El-Attal R, Kathrein A, Knop C, Blauth M, et al. Acute diagnosis of spinal trauma. *Radiologe* 2006; 46: 527-541
- Riggs BL, Melton LJ. 3rd. Involutional osteoporosis. *N Engl J Med* 1986; 314: 1676-1686
- Rosen CJ. Clinical practice. Postmenopausal osteoporosis. *N Engl J Med* 2005; 353: 595-603
- Schunke M, Schulte E, Schuhmacher U. Prometheus Lernatlas der Anatomie. Stuttgart; Georg Thime Verlag 2005
- Shindle MK, Gardner MJ, Koob J, Bukata S, Cabin JA, Lane JM. Vertebral height restoration in osteoporotic compression fractures: kyphoplasty balloon tamp is superior to postural correction alone. *Osteoporos Int* 2006; 17: 1815-1819
- Suk SI, Kim JH, Lee SM, Chung ER, Lee JH. Anterior-posterior surgery versus posterior closing wedge osteotomy in posttraumatic kyphosis with neurologic compromised osteoporotic fracture. *Spine* 2003; 28: 2170-2175
- Theodorou DJ, Theodorou SJ, Duncan TD, Garfin SR, Wong WH. Percutaneous balloon kyphoplasty for the correction of spinal deformity in painful vertebral body compression fractures. *Clin Imaging* 2002; 26: 1-5
- Uchida K, Kobayashi S, Matsuzaki M et al. Anterior versus posterior surgery for osteoporotic vertebral collapse with neurological deficit in the thorakolumbar spine. *Eur Spine* 2006; 15: 1759-1767
- Villarraga ML, Bellezza AJ, Harrigan TP, Cripton PA, Kurtz SM, Edidin AA. The biomechanical effects of kyphoplasty on treated and adjacent nontreated vertebral bodies. *J Spinal Disord Tech* 2005; 18: 84-91
- Voggenreiter G, Brocker K, Rohrl B, Sadick M, Obertacke U. Results of balloon kyphoplasty in the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures. *Unfallchirurg* 2008; 111: 403-412

Weinstein RS, Majumdar S. Fractal geometry and vertebral compression fractures. *J Bone Miner Res* 1994; 9: 1797-1802

White AA, Panjabi MM. The Problem of Clinical Instability in the Human Spine: a Systemic Approach. In: White AA Panjabi MM, eds., *Clinical Biomechanics of the Spine*: Philadelphia: Lippincott, 1990: 277–378

Whitesides TE, Jr. Traumatic kyphosis of the thoracolumbar spine. *Clin Orthop Relat Res* 1977: 78-92

Wilhelm K, Stoffel M, Ringel F, Rao G, Rosseler L, Urbach H, et al. Preliminary experience with balloon kyphoplasty for the treatment of painful osteoporotic compression fractures. *Rofo* 2003; 175: 1690-1696

Wirth CJ, Zichner L. *Orthopädie und Orthopädische Chirurgie*. Band: Wirbelsäule, Thorax; Krämer J. Kapitel: 12 Verletzungen der Wirbelsäule; Eipel P, Fürderer S. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2004

10. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich besonders bei meinem Doktorvater und Betreuer Herrn PD Dr. Clayton N. Kraft, Chefarzt des Helios Klinikum Krefelds, bedanken, der mir während meiner Doktorarbeit immer hilfreich zur Seite stand.

Außerdem möchte ich mich herzlich bei meinen Eltern bedanken, die mich nicht nur finanziell, sondern auch moralisch sehr unterstützt haben. Ebenso bei den Personen, die sich die Zeit genommen haben, viele Stunden Korrektur zu lesen, hierbei besonders Alena und Andrea.

Nicht zuletzt danke ich meiner langjährigen Freundin Alexandra für ihre Geduld und Rücksicht nicht nur während der Erstellung dieser Arbeit, sondern über mein ganzes Studium hinweg.

Ohne ihre ständige Motivation und Moral zur Weiterarbeit wäre diese Arbeit vermutlich nicht zeitnah fertig gestellt worden.